

**BACHELOR-, MASTER- ODER
DIPLOMARBEIT**

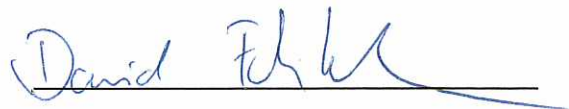
**KONZEPTION UND KONSTRUKTION
EINES ASSISTENTENARBEITSPLATZES
FÜR DIE MINIMALINVASIVE
ROBOTISCHE CHIRURGIE**

Freigabe:

Der Bearbeiter:

Unterschriften

David Fehrenbach



Betreuer:

Dipl.-Ing. Sophie Lantermann



Der Institutsdirektor

Prof. Alin Albu-Schäffer



Dieser Bericht enthält 76 Seiten, 46 Abbildungen und 7 Tabellen

Semesters-Thesis

by Mr Cand.-Ing. David Fehrenbach

Student Number: 3608626

Discipline: Mechanical Engineering

Konzeption und Konstruktion eines Assistentenarbeitsplatzes für die minimalinvasive robotische Chirurgie

This work remains property of the candidate and the chairs.

Supervisor:

Dipl.-Ing. Andreas Robeck

Partner:

Dipl.-Ing. Sophie Lantermann, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

issued: 01.11.2013

submitted: 28.04.2014

David Fehrenbach

Andreas Robeck

20 keywords:

robotergesützt, minimalinvasiv, Chirurgie, Laparoskopie, Arbeitsplatz, Ergonomie, Assistenzchirurg, Instrumentierschwester, telepräsent, DaVinci, MiroSurge, Arbeitsablauf, Workflow, Laparoskopieturm, Instrumente, MIRO, MICA, Uroonkologie, Medizingeräte, Usability-engineering

This thesis has not been published previously in its entirety or in part for obtaining any qualification neither in-country nor offshore.

By submitting this thesis, I declare that the entirety of the work contained therein is my own, original work, that I am the sole author thereof (save to the extent explicitly otherwise stated). A violation of this rule may result in legal consequences.

Garching, 28.04.2014

David Fehrenbach

Abstract

INTRODUCTION: Although surgeons and their assistants are highly trained experts, the new operating room environment within a minimally invasive robotic Surgery (MIRS) challenges them a lot. Poor lighting conditions, increased amount of technical components and unknown working tasks with the system are just some problems they encounter. As opposed to this, one of the benefits of MIRS should be reduced costs because of quicker and optimized tasks. Therefore it is necessary to reconsider the operating room's setup regarding the assistant's workstation. Within the MiroSurge-System this step was performed by an industrial designer and a medical engineer in teamwork.

METHODS: Context inquiries and field observation in MIRS were performed to define five overall goals. These goals had to be fulfilled by a novel design of a workstation to be used by the assistants. Suitable concepts were validated in usability tests. Based on the obtained results, a prototype was designed.

RESULTS: A novel workstation for the assistants has been developed. The best design of this workstation is a mobile tower, which should be placed at the foot of the operating table. This tower contains all components needed for MIRS to reduce the entire system's footprint. In addition to that, the complete preoperative workflow was analysed and redesigned for the MiroSurge-System. This includes especially the draping procedure, which was reduced from more than four working steps to one.

CONCLUSION: The footprint, the amount of working steps and the complexity were reduced to an easy to handle, suitable and configurable system. The developed workstation has to pass further usability test to be verified by different surgical teams.

Danksagung

Meine Dankbarkeit gilt in größtem Maße Prof. Dr. Dr. Erich Wintermantel, der durch sein Engagement mein Interesse für die Medizintechnik geweckt hat. Durch ihn wurde mir die Möglichkeit zuteil, in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Medizintechnik der TU München diese Abschlussarbeit zu verfassen.

Gleichermaßen danke ich Prof. Dr. Alin Albu-Schäffer, Leiter des Instituts für Robotik und Mechatronik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen, für die Möglichkeit, in der Medizintechnikgruppe forschen zu dürfen.

Besonders bedanken möchte ich mich bei meinen persönlichen Betreuern, Dipl.-Ing. Sophie Lantermann und Dipl.-Ing. Andreas Robeck, für die Unterstützung, Überwachung und Korrektur meiner Arbeit und die stets freundliche und aufgeschlossenen Kommunikation.

Großer Dank gilt meinem Teampartner Julian Boden und seinem Betreuer Tilo Wüsthoff für die freundliche ergänzende und vor allem stets kompetente Zusammenarbeit.

Ich möchte mich recht herzlich bei dem OP-Team der Urologischen Klinik und Poliklinik des Klinikums Rechts der Isar, vor allem aber bei den OP-Schwestern Frau Schucht und Frau Maersmann, für die wichtigen Einblicke in das Arbeitsumfeld einer chirurgischen Station und die gute Mitarbeit während der Benutzertests bedanken.

Die hervorragende handwerkliche Kompetenz der beteiligten Werkstätten war in großem Maße für das Gelingen dieser Arbeit verantwortlich. Dort, wo das Verständnis des angehenden Ingenieurs endete, waren die Mitarbeiter der institutsinternen Werkstätten mit Rat und Tat aus langjähriger Berufserfahrung immer zur Stelle.

Außerdem möchte ich allen Studentinnen und Studenten, Kolleginnen und Kollegen innerhalb der Forschungsgruppe für die Unterstützung und Freundschaft danken.

Besonders großer Dank gilt meinen Eltern und meiner Familie, die mich finanziell und moralisch während meiner Studienzeit unterstützt und aufgebaut haben.

Zuletzt spreche ich meine Dankbarkeit meiner Freundin Anna Hin aus, die meinen Weg stets begleitet hat. In allen Situationen konnte ich mich auf ihre Hilfe verlassen, was nicht zuletzt zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Glossar

OP	Operation
MIRS	Minimally Invasive Robotic Surgery
CAD	Computer Aided Design
CT	Computertomographie
HF	Hochfrequenz
MVM	Münchener Vorgehensmodell
SF	Schädliche Funktion
NF	Nützliche Funktion
HPL	High Preasure Laminate
3D	Dreidimensional
VR	Virtuelle Realität
AR	Erweiterte Realität

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Laparoskopische Chirurgie	1
1.1.1	Operative Prinzipien und technische Grundausstattung	1
1.1.2	Einsatzmöglichkeiten der laparoskopischen Chirurgie	3
1.1.3	Vorteile der laparoskopischen Chirurgie	3
1.2	Minimalinvasive robotergestützte Chirurgie	4
1.2.1	Geschichte und Einsatzbereiche der robotergestützten Chirurgie	4
1.2.2	Verbesserungspotenziale der laparoskopischen Chirurgie durch die minimalinvasive robotergestützte Chirurgie	5
1.3	Stand der Technik der MIRS innerhalb der Uroonkologie	7
1.3.1	Systemkomponenten des DaVinci-System	8
1.3.2	Das DLR MiroSurge-System	8
2	Zielsetzung	10
3	Vorgehensmodelle und Methoden	11
3.1	Das Münchener Vorgehensmodell als Leitfaden der Arbeit	11
3.2	Beschreibung des methodischen Vorgehens innerhalb des Vorgehensmodells	13
3.2.1	Erster Schritt: Ziel Planen	13
3.2.1.1	Interviews und Befragungen	13
3.2.1.2	Benchmarking	13
3.2.2	Zweiter Schritt: Problem strukturieren	13
3.2.2.1	Feldbeobachtung	14
3.2.2.2	Strukturierte Feldforschung	14
3.2.2.3	kognitiver Durchgang	14
3.2.2.4	relationsorientierte Funktionsmodellierung	14
3.2.2.5	Problemformulierung	15
3.2.3	Dritter Schritt: Lösungsideen ermitteln und Entscheidungen herbeiführen	17
3.2.3.1	Brainstorming	17
3.2.3.2	Effektsammlung	17
3.2.3.3	Morphologischer Kasten	17
3.2.4	Vierter Schritt: Eigenschaften ermitteln	18
3.2.4.1	Benutzertest	18
3.2.5	Fünfter Schritt: Ziel analysieren	18
3.2.5.1	Anforderungsliste	18
3.2.6	Sechster Schritt: Konstruktive Details des Prototyps	19

4	Ergebnisse	20
4.1	Zielplanung	20
4.1.1	Disziplinspezifische Einstellungen der Stakeholder	20
4.1.2	Das Arbeitsumfeld innerhalb einer Abteilung der minimalinvasiven Chirurgie	21
4.1.2.1	Zur Rolle der OP-Assistenten	21
4.1.2.2	Komponenten eines MIRS-System am Beispiel des DLR MiroSurge-Systems	23
4.1.3	Alleinstellungsmerkmale des DLR MiroSurge-Systems	24
4.1.4	Zieldefinition	25
4.2	Problemstrukturierung	26
4.2.1	Relationsorientierte Funktionsmodellierung und kognitiver Durchgang eines beispielhaften DaVinci-Eingriffs	27
4.2.2	Abgeleitete Handlungsempfehlungen	33
4.2.3	Ergänzung der Ziele durch Entwicklungsfokusse	37
4.3	Konzeptfindung	38
4.3.1	Ermittlung von Lösungsideen	38
4.3.2	Konzeptbeschreibung	46
4.3.3	Darstellung und Analyse des verbesserten Workflows	48
4.4	Konzeptvalidierung	54
4.4.1	Benutzertest	54
4.4.2	Ergebnisse des Benutzertests	56
4.4.3	Überprüfung der Eigenschaften	58
4.5	Ziel analysieren	59
4.5.1	Lastenheft	59
4.6	Ausführung und Details der Konstruktionsschwerpunkte	60
4.6.1	Grundkonstruktion, Komponentenplatzierung und Verkleidung	60
4.6.2	Regalkonstruktion	62
4.6.3	Arbeitsfläche	63
4.6.4	Instrumentensteckplatz, Anschlusspanel an der OP-Tisch-Seite und sterile Endplatte	63
4.6.5	Informationsmanagement	67
5	Diskussion	68
5.1	Zielerreichung der Konstruktionsschwerpunkte und weiteres Vorgehen	68
5.1.1	Grundkonstruktion	68
5.1.2	Regaleinheit	69

5.1.3	Arbeitsfläche	69
5.1.4	Instrumentensteckplatz	69
5.1.5	Anschlusspanel an der OP-Tisch-Seite	70
5.1.6	Sterile Endplatte	70
5.1.7	Anschlusspanel für die Versorgungsnetze	70
5.1.8	Informationsmanagement	71
5.1.9	Unsteriles Kabelmanagement	71
5.2	Verteidigung des gewählten Konzepts am Beispiel eines Produktlebenszyklus	72
5.2.1	Anschaffung	72
5.2.2	Inbetriebnahme	73
5.2.3	Produktnutzung	73
5.2.4	Entsorgung	74
6	Zusammenfassung	75
	Literaturverzeichnis	77
A	Schaubilder der Funktionsmodellierungen	85
A.1	Relationsorientierte Funktionsmodellierung einer MIRS mit dem DaVinci-System	86
A.2	Relationsorientierte Funktionsmodellierung einer MIRS mit dem MiroSurge-System	94
B	Tabellen	100
B.1	Anforderungsliste	100
B.2	Stückliste	108

1 Einleitung

1.1 Laparoskopische Chirurgie

Die Ära der wissenschaftlichen Chirurgie begann in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts und umfasst bisweilen drei Phasen [83]. Während der ersten Phase wurden alle Körperhöhlen von Pionieren der Chirurgie, wie Billroth und Von Langenbeck, für einen chirurgischen Eingriff zugänglich gemacht. Die zweite Phase umfasste das Rekonstruieren, Transplantieren sowie das Substituieren von Organen und Körperteilen. Die dritte Phase brach anfangs der 90. Jahre an, seit der sich die Akteure der Chirurgie mit der erfolgreichen Minimierung des Eingriffstraumas befassen [83]. Dieses Bestreben wurde unter anderem durch den Begriff der minimalinvasiven Chirurgie bekannt. Diese umfasst alle laparoskopischen Operationstechniken, die das Operationsfeld durch kleine künstliche Öffnungen, oder natürliche Körperöffnungen exponieren [40, 83]. Der wesentliche Unterschied zur offenen Chirurgie besteht darin, dass das Operationsfeld nicht mehr direkt für den Operateur einsehbar ist, sondern per Videoübertragung auf einem Monitor sichtbar gemacht wird [32, 40, 83]. Die Voraussetzungen und Grundlagen für die Entstehung der minimalinvasiven Chirurgie schuf die Endoskopie. Bei dieser, vormals rein diagnostischen Operationstechnik, wird eine Spiegelung von Körperhöhlen mittels langen, stabförmigen Instrumenten mit einer Kamera an der Spitze vorgenommen [32, 40, 83]. Bald darauf wurde der entscheidende Durchbruch zur Idee der minimalinvasiven Chirurgie geleistet, als ein Operateur polypöse Strukturen mit einer, am Endoskop angebrachten Drahtschlinge erfolgreich entfernte [83]. Diese Drahtschlingen wurden im Laufe der Jahre zu komplexen, dünnkalibrigen Instrumenten weiterentwickelt, die nahezu alle Funktionen des traditionellen chirurgischen Bestecks abdecken [32]

1.1.1 Operative Prinzipien und technische Grundausstattung

Eine traditionelle laparoskopische Chirurgie beginnt immer mit dem Anlegen eines Pneumoperitoneums, um ein Abdomen zu schaffen, das die Bauchdecke hebt und somit genügend Raum für die Operation zur Verfügung stellt [40, 83]. Dies geschieht in den meisten Fällen durch CO₂-Insufflation über den blind gestochenen Optiktrokar [40]. Danach werden unter Abgleich mit dem Endoskopbild die Arbeitstrokare gestochen, die den Zugang für die Instrumente zum Operationssitus ermöglichen [40, 83]. Zur technischen Grundausstattung gehören mindestens der Gas-Insufflator, ein Endoskopiesystem, das Kamera, Bildverarbeitung, Monitor und Lichtquelle beinhaltet und die laparoskopischen Instrumente. Außerdem kann optionale Peripherie wie Elektrokoagulationsgeräte (HF-Gerät) und Saug-Spühl-Einheiten verwendet werden [32, 83]. Während des Eingriffs werden meist die Optik vom Kammerassistenten und die Instrumente zur Manipulation vom Operateur geführt, während weitere Assistenten Instrumente und Materialien anreichen bzw. abnehmen [83]. Im Verlauf des Eingriffs präpariert der Operateur das

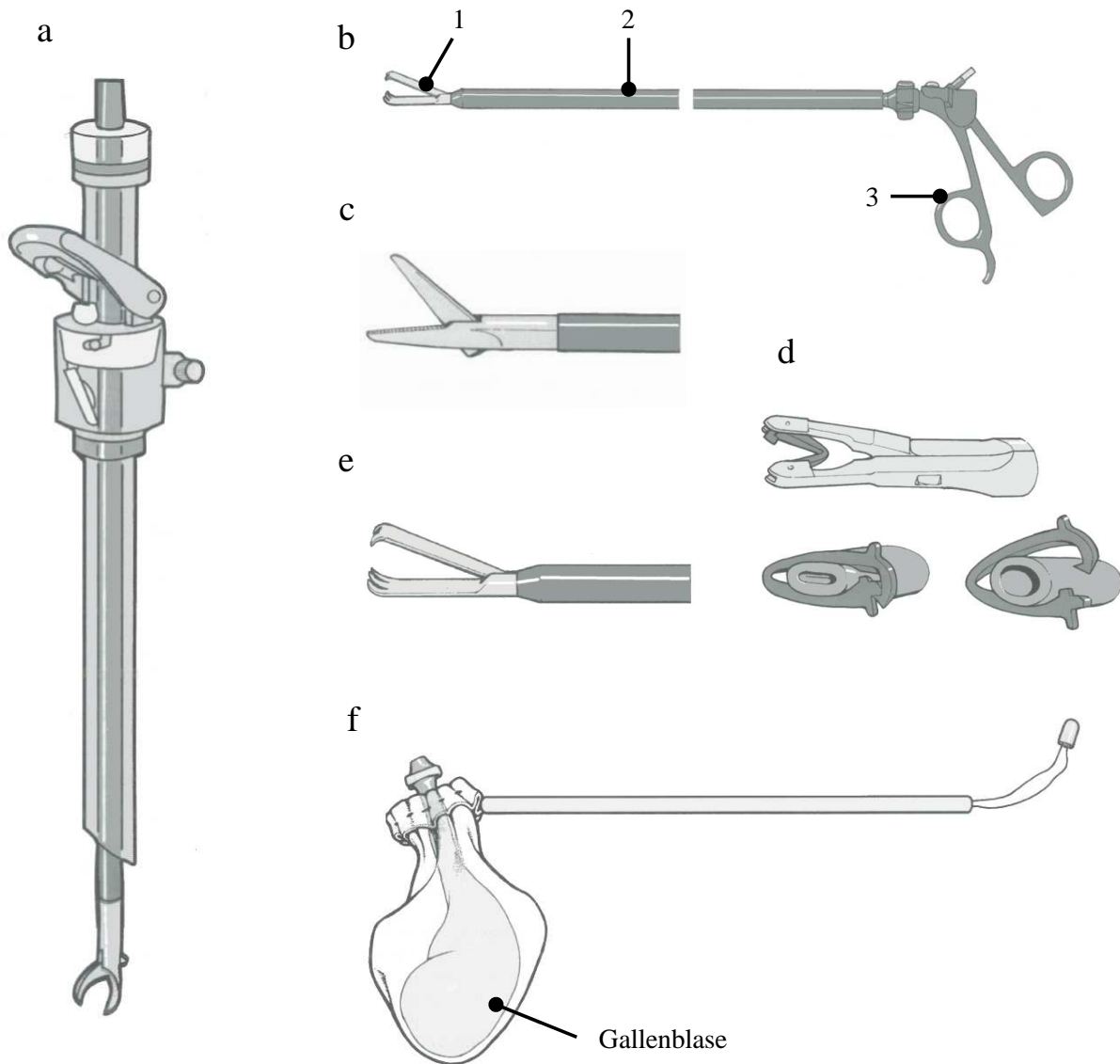


Abbildung 1.1: Auswahl an Grundinstrumentarium der minimalinvasiven Chirurgie. (a): Arbeitstrokar als Zugang zum Operationssitus mit eingeführtem Instrument. (b): Grundform eines minimalinvasiven Instruments mit Endeffektor (1), Schaft (2) und Griff (3). (c): HF-Schere zur Gewebepreparation. (d): Clip-Applikator mit resorbierbaren PDS-Clips. (e): Faszizialzange nach Senn zur Gewebemanipulation. (f): Beugebeutel zur Entnahme von Präparaten durch einen Arbeitstrokar [40].

malige Gewebe frei und wird dabei vom Assistenten unterstützt [40]. Dieser hält unter Verwendung von Retraktoren und Faszangen das störende Gewebe zur Seite und exponiert somit den Operationssitus für den Chirurgen [83]. Blutungen werden mittels Koagulation gestoppt, innere Wunden mittels Clip-Applikatoren und Nahttechniken verschlossen [6, 40, 83]. Wurde das maligne Gewebe erfolgreich freipräpariert, so wird es mittels Begebeutel durch einen Arbeitstrokard hindurch aus dem Situs entfernt. [40]. Die Laparoskopie beschränkt sich jedoch nicht nur auf Ektomien im Viszeralbereich, sondern bietet mittlerweile auch das Potential für minimalinvasive Rekonstruktionen [83].

1.1.2 Einsatzmöglichkeiten der laparoskopischen Chirurgie

Die laparoskopische Chirurgie wird bei nahezu allen gutartigen Erkrankungen des Gastrointestinaltrakts als Goldstandard geführt. Als Beispiele seien die Entfernung der Gallenblase oder die Behandlung entzündlicher Darmerkrankungen genannt [83]. Auch Rekonstruktionen wie Leistenbruchverschlüsse und Hernienreparationen¹ gehören seit Längerem zu den anerkannten laparoskopischen Techniken [22, 55, 63, 65, 83]. Außerdem hat sich die laparoskopische Operationstechnik auf dem Behandlungsgebiet der bösartigen Tumore ausgebreitet und verzeichnet immer wieder neue Erfolge [52, 69, 83]. Vor dem Hintergrund aktueller Krebsstatistiken gewinnt dieses Anwendungsgebiet an zunehmender Bedeutung. Statistiken des Robert Koch Instituts zählten im Jahre 2010 252.390 Tumorneuerkrankungen bei Männern sowie 224.910 bei Frauen [2]. Je nach Definition (hier: Darm, Gallenblase und Gallenwege, Bauchspeicheldrüse, Prostata/Eierstöcke, Niere, Harnblase) befinden sich ca. 51% der Tumorlokalisationen bei Männern und 24% bei Frauen innerhalb des Gastrointestinaltrakts oder innerhalb des Fachgebiets der Uroonkologie [2]. Zahlen des National Cancer Institut bestätigen diesen Sachverhalt auch für die USA [19]. Der hohe prozentuale Anteil von Tumorlokalisationen innerhalb der Uroonkologie bei Männern ist dem Prostatakrebs geschuldet. Allein in den USA werden wohl 233.000 Neuerkrankungen im Jahre 2014 verzeichnet werden von denen 29.480 tödlich verlaufen werden (ca. 13%) [1]. Während Prostatauntersuchungen Neuerkrankungen früher erkennbar machen, gelingt es der laparoskopischen Uroonkologie, die Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten durch verbesserte Operationstechniken weiter zu steigern [1, 3, 13, 59, 69].

1.1.3 Vorteile der laparoskopischen Chirurgie

Der wesentliche Vorteil der laparoskopischen Chirurgie liegt in der Verkleinerung des Bauchdeckentraumas, was einen positiven Effekt auf zahlreiche Genesungsfaktoren hat. Beispielsweise sinkt durch die verkleinerten Wundflächen die Thrombose- und Embolierate der Patienten [32]. Auch bieten sich für den Patienten subjektive Vorteile, wie z.B. reduzierte postoperative Schmerzen und ein besseres kosmetisches Ergebnis [4, 32, 37, 59, 60, 69, 73]. Ein weiterer

¹ von lat. fem. hernia ‚Knospe, Spross‘. Austritt von Eingeweiden aus der Bauchhöhle durch eine angeborene oder erworbene Lücke in den tragenden Bauchwandschichten

positiver Effekt ist die deutlich reduzierte Belastung für das Immunsystem durch den Eingriff, festzustellen durch eine niedrigere Freisetzung von pro-inflammatorischen Cytokinen, sowie eine deutlich geringere Aktivität von Lymphozyten, Monozyten und anderen Immunzellen [73]. Erwünschte Folgen sind unter anderem eine frühere Rückkehr der Darmfunktionen und der deutlich geringere Verbrauch von Analgetika [32, 50]. All diese Vorteile äußern sich nicht zuletzt in einer geringeren Krankenhausverweildauer des Patienten [4, 32, 37, 50, 59, 60, 69, 83]. RAYMOND *et al* stellten bspw. eine durchschnittliche Liegezeit bei einer laparoskopischen Hernienreparation von einem Tag fest, wohingegen Patienten mit einem kolorektalem Karzinom durchschnittlich sechs Tage im Krankenhaus verweilen mussten. Es wurden allerdings bei allen Patienten eine Wiederaufnahme der Tätigkeiten innerhalb einer Woche nach Entlassung aus dem Krankenhaus festgestellt [60]. Dieser enorme volkswirtschaftliche Vorteil wiegt in den meisten Fällen den Nachteil der höheren Kosten einer laparoskopischen Chirurgie auf [32, 50, 69].

1.2 Minimalinvasive robotergestützte Chirurgie

1.2.1 Geschichte und Einsatzbereiche der robotergestützten Chirurgie

Nachdem Robotersysteme in der industriellen Produktion, Qualitätssicherung und Automatisierung als Standard eingesetzt werden, halten sie seit den 90er Jahren nach und nach Einzug in die Medizintechnik [34, 35, 74]. Grundsätzlich lassen sich drei Einsatzbereiche unterscheiden:

Robotergestützte Orthopädie: Geometrische Präzision ist bei der Implantation von Endoprothesen von entscheidender Bedeutung [74, 83]. Während bei Hüftendoprothesen die Einhaltung des korrekten Implantationswinkels eine entscheidende Rolle spielt, kommt es bei Eingriffen am Rücken oft auf an, die Knochenschrauben sicher und fern der Nervenbahnen zu platzieren [74]. Von entscheidendem Vorteil ist die vergleichsweise harte Substanz der Knochen. Dadurch können Knochen mittels Computertomographie (CT) oder Röntgenbildgebung sehr präzise visualisiert werden, sodass der Chirurg vor dem Eingriff Implantatsgröße und Position bestimmen kann [49, 74]. Eines der ersten erfolgreich eingesetzten Systeme in diesem Bereich war ROBODOC von Integrated Surgical Systems, Ende der 80er Jahre [74, 75]. Dieses System unterstützte den Chirurgen, indem es das Implantat relativ zu den CT-Daten korrekt ausrichtete [74].

Robotergestützte perkutane Therapien: Medizinische Robotersysteme halten ebenso Einzug in das Einsatzgebiet der perkutanen² Therapie, die dadurch von einer lokaleren und präziseren Anwendung profitiert [70, 74]. Die Position kleiner Nadeln wird in Echtzeit mit verschiedensten bildgebenden Verfahren abgeglichen und somit exakt eingehalten [74, 83]. Eine Anwendung auf dem Gebiet der perkutanen Radiologie ist das 2003 an der Hodkin University Baltimore entwickelte ACUBOT-System [74]. ACUBOT unterstützt das punktgenaue Einfüh-

²von lat. *per* ‚durch‘ und *cutis* ‚Haut‘; sinngemäß, durch die (gesunde) Haut hindurch

ren einer Nadel mit radioaktiver Spitze. Somit kann die Strahlenbelastung auf einen lokalen Applikationsbereich begrenzt werden [70].

Minimalinvasive robotergestützten Chirurgie: Die Anfänge der minimalinvasiven robotergestützten Chirurgie (MIRS) liegen in Assistenzsystemen, die bspw. Endoskope nachführen oder den menschlichen Ruhetremor kompensieren [34]. Seit etwa 15 Jahren beschränken sich die Aufgaben der Robotereinheiten nicht nur auf Halte- und Führungsfunktionen, sondern haben sich auf das Gebiet der Telepräsenz ausgeweitet [74]. Dabei immitieren die verwendeten Roboter die Handbewegungen des Operators, der sich wiederum auf die visuelle Rückmeldung des Endoskopbildes verlässt [39, 74]. Die Eingabe der Chirurgenbewegungen erfolgt durch eine Masterkonsole, die die Bewegungsinformationen kodiert und an die Robotereinheiten überträgt [34]. Einziges Robotersystem mit Zulassung auf dem Gebiet der Telepräsenz ist das, im Jahre 1999 erstmals vermarktete, DaVinci-System von Intuitive Surgical Inc. [39].

1.2.2 Verbesserungspotenziale der laparoskopischen Chirurgie durch die minimalinvasive robotergestützte Chirurgie

Bei der konventionellen laparoskopischen Chirurgie ergeben sich für den Operateur Nachteile, die sich direkt auf das Wohl des Patienten auswirken und in zwei Kategorien einteilbar sind:

1. Freiheitsgradverlust, Bewegungsinversion und Bewegungsverstärkung
2. unvollständige Informationswiedergabe aus dem Operationssitus

Freiheitsgradverlust, Bewegungsinversion und -Verstärkung resultieren aus dem sog. *Chopstick-Effekt*. Da der Trokar einen Fixpunkt darstellt, werden zwei Freiheitsgrade gesperrt [34, 66]. Somit können nur noch eine Rotation und eine Translation um und entlang der Instrumentenachse, sowie zwei Rotationen um den Trokarpunkt vom Chirurgen ausgeführt werden. Die Möglichkeiten zu komplexeren Bewegungstrajektorien sind somit im Vergleich zur offenen Chirurgie deutlich eingeschränkt. Will der Chirurg dennoch komplizierte Aktionen mit ausreichender Genauigkeit ausführen, so zwingen ihn diese Einschränkungen oftmals zu unnatürlichen Haltungen der Oberarme und zu einer erhöhten Muskelbelastung [45]. Eine weitere Schwierigkeit stellt die Bewegungsinversion und -verstärkung da. Zum einen werden am Trokarpunkt die Bewegungen der Akteure im Körperinneren umgekehrt, sowie zum anderen um einen gewissen Hebelarm verlängert, oder verkürzt [34, 35, 66]. Diese Inversion erschwert die Hand-Augen-Koordination und führt somit zu ungewollten Bewegungen in die umgekehrte Richtung [84]. Der Hebelarm verstärkt unter anderem den Ruhetremor des Kamerassistenten und erschwert das Anreichen von Material [62, 79]. Direkte Folgen für das OP-Personal sind eine schnellere Ermüdung, Schmerzen durch unergonomische Haltungen und Zeitverlust [34, 45]. Diese Nachteile können nur durch langes und intensives Chirurgentraining ausgeglichen werden [44, 62].

Die **unvollständige Informationswiedergabe aus dem Operationssitus** ist dem *schlüsselloch-artigen* Zugang zum Operationsfeld geschuldet. Ein Teil der Informationen wird schlichtweg durch den abgeschlossenen Situs geschluckt und nicht zum Operateur weitergereicht [34,38,83]. Dazu gehört auch die fehlende dreidimensionale Rauminformation der 2D-Monitore, was vermehrt zu Fehlbewegungen durch falsche Raumeinschätzung führt [8, 12, 84]. Eine weitere Ursache für Fehlbewegungen ist eine verringerte Hand-Auge-Koordination durch den schiefen Blickwinkel des Operateurs auf das Endoskopbild relativ zum Arbeitsbereich [62, 84]. Hinzu kommt kann der Operateur keinen Gebrauch von seinen taktilen Fähigkeiten machen, da die Kraftinformationen von den langen laparoskopischen Instrumente verzerrt oder sogar geschluckt werden [45,66]. Aus diesen Fehlbewegungen und Fehleinschätzungen resultieren in den meisten Fällen Verletzungen der umliegenden Gewebestrukturen [38].

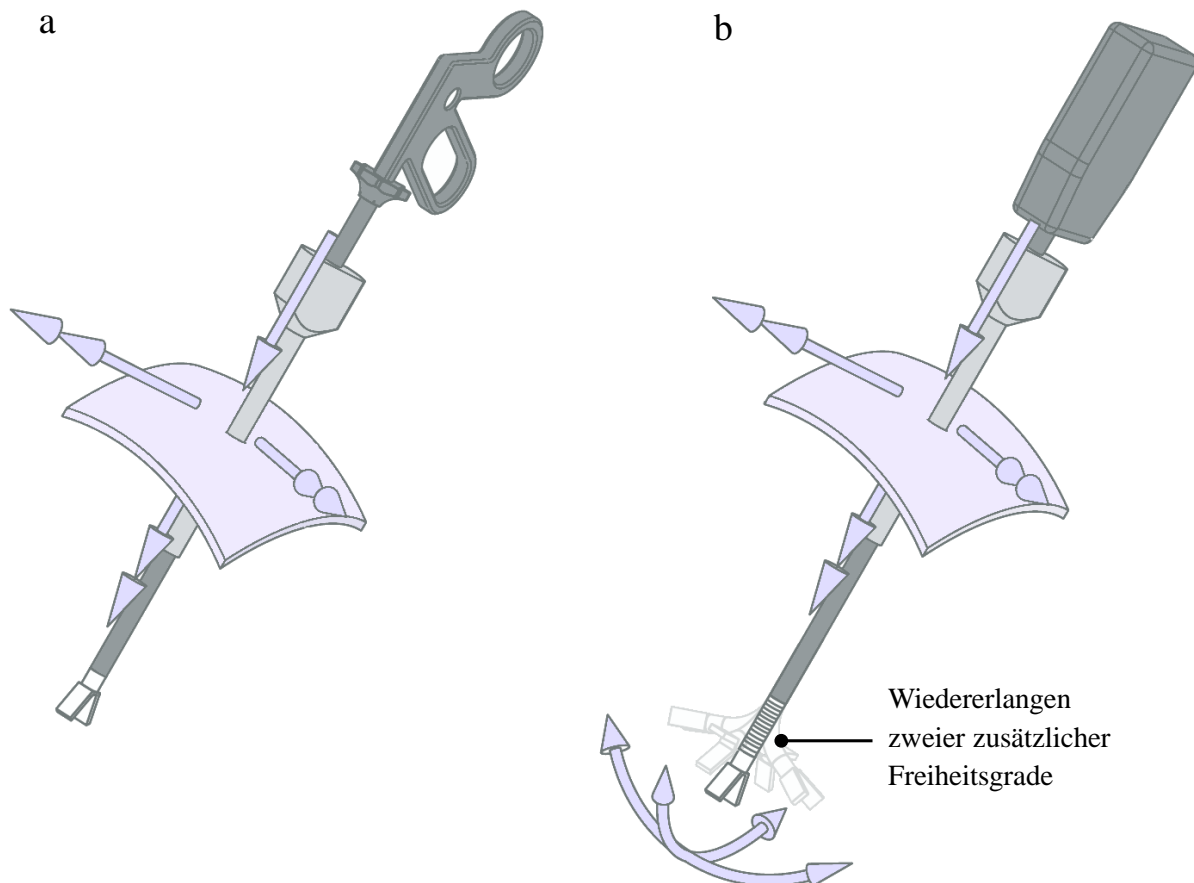


Abbildung 1.2: Erklärung des *Chopstick-Effekts*. (a): Der Arbeitstrokar stellt einen Fixpunkt dar und sperrt dadurch zwei Freiheitsgrade. (b): Durch die Verwendung von Roboterinstrumenten werden zwei Freiheitsgrade am Gelenk zurückgewonnen, wodurch sich der Bewegungsraum erheblich erweitert [66].

Der wesentliche Vorteil aktueller Robotersysteme für die telepräsenste Chirurgie auf dem Markt und aus der Entwicklung liegt in der Zurückgewinnung der am Trokarpunkt verlorenen zwei Freiheitsgrade (Abb.:1.2b, S.6). Die Gelenkposition des Instruments stimmt mit der des Handgelenks des Chirurgen überein. Dadurch wird die Hand-Augen-Koordination des Chirurgen wiederhergestellt und der Bewegungsumfang um ein erhebliches Maß gesteigert, was schnellere und flexiblere Eingriffe ermöglicht [33, 34, 66]. Dieser Umstand hilft nicht zuletzt dabei, neue Einsatzmöglichkeiten der MIRS zu erschließen. Ultimatives Ziel ist es, minimalinvasiv am schlagenden Herzen durch Bewegungskompensation operieren zu können [35].

Ein greifbareres Beispiel ist die Nierenteilresektion. Bei diesem Eingriff herrschen strenge Randbedingungen, wie die Forderung nach geringem Blutverlust, geringer Gewebeverletzung und Ischemiezeiten von unter 20 Minuten. Deshalb wird die laparoskopische Nierenteilresektion nicht als Standard geführt und nur von erfahrenen Operateuren durchgeführt [71]. Unter Verwendung des MIRS-Systems DaVinci allerdings, ist die Nierenteilresektion für weniger erfahrene Chirurgen schneller und sicher durchführbar [21, 23, 57]. Die maximalen Ischemiezeiten können dadurch eingehalten werden. Dies liegt unter Anderem an der intuitiven Bedienbarkeit von MIRS-Systemen, was sich in einer weniger steilen Lernkurve im Vergleich zur konventionellen Laparoskopie zeigt [57].

Die Forschung beschäftigt sich außerdem intensiv mit der Entwicklung von Force-Feedback-Systemen, die den Operateur mit unverzerrten haptischen Informationen versorgen sollen [34, 66, 79]. Somit wird dem Chirug die Fähigkeit des Fühlens *in situ* zurück verliehen, was eine bessere Gewebeerkennung, reduzierte Kraftapplikation und eine geringer Fehleranfälligkeit innerhalb einer chirurgischen Aufgabe zur Folge hat [82].

Weiterhin verlagert sich der Arbeitsplatz des Operateurs an die Masterkonsole, was seine Flexibilität und die Ergonomie erhöht. Er profitiert von einer besseren Hand-Auge-Koordination durch die frontale Betrachtung des Endoskopbilds, weniger Ermüdungserscheinungen durch eine entspanntere Körperhaltung und kann intraoperativ Patientendaten einsehen oder externe Ratschläge anfordern [39, 47, 74, 84]. Diese Verbesserungen äußern sich in positiven klinischen Studien zu neuen Einsatzgebieten von MIRS-Systemen und Patienten, die von weniger Blutverlust und kürzeren Liegezeiten profitieren [8, 12, 44, 56]. Alles in Allem kann davon gesprochen werden, dass der Zweck eines MIRS-Systems in der Vereinigung der Stärken von Chirurg und Robotersystem besteht [74].

1.3 Stand der Technik der MIRS innerhalb der Uroonkologie

In Folgendem werden das meist verwendete MIRS-System innerhalb der Uroonkologie, das DaVinci-System und das Forschungsprojekt des DLRs, das MiroSurge-System kurz vorgestellt und beschrieben. Im Verlauf der Arbeit werden dem Leser weiter Details zu den Systemen dargelegt, um das Systemverständnis zu erhöhen.

1.3.1 Systemkomponenten des DaVinci-System

Die Firma Intuitive Surgical Inc. vermarktet seit 1999 das hoch spezialisierte MIRS-System DaVinci, mit dessen Hilfe es dem Chirurgen möglich wird, telepräsent im Bereich der Uroonkologie und Viszeralchirurgie zu operieren. Da dieses System weltweit die meiste Verbreitung findet, wurden die Feldbeobachtungen an DaVinci-Eingriffen vorgenommen. Im Folgenden werden die Systemkomponenten kurz erläutert:

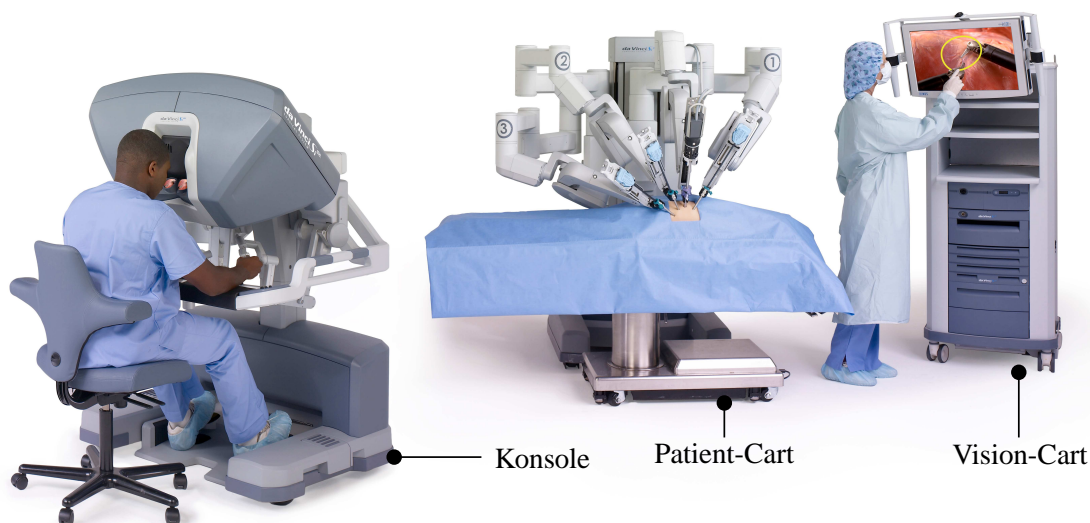


Abbildung 1.3: Das DaVinci-System der Firma Intuitive Surgical Inc. besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten. Der Operateur steuert die Roboterstative telepräsent von der Konsole aus. Das Patient-Cart steht OP-Tisch-seitig und beinhaltet drei Roboter- und ein Endoskopstativ. Das Vision-Cart beinhaltet die Bildverarbeitungseinheit und einen Monitor zur Wiedergabe des Endoskopbilds.

Der Operateur steuert die Roboterinstrumente telepräsent mittels ergonomischer Handgriffe von der Chirurgenkonsole aus. Diese bietet neben einer ergonomischen Sitzposition eine 3D-Sicht durch ein Binokular [8]. Das Patient-Cart beinhaltet die vier Roboterstative und ist fahrbar gestaltet. Es wird vor dem Eingriff an einer Seite des OP-Tischs positioniert. Aufgrund der verhältnismäßig großen Bauform des Patient-Carts ist der Einsatz des DaVinci-Systems nur in größeren OP-Sälen möglich [16]. Das Vision-Cart stellt den Arbeitsplatz der Assistenten dar und beinhaltet die Bildverarbeitung und einen Monitor zur Ausgabe des Endoskopbildes.

1.3.2 Das DLR MiroSurge-System

Das MiroSurge-System ist ein plattformbasiertes System für den Einsatz in der MIRS. Plattformbasiert bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Basiskomponente, der MIRO Roboterarm, mit Anwendungskomponenten, wie Instrumenten und Software flexibel ausgestattet wird.

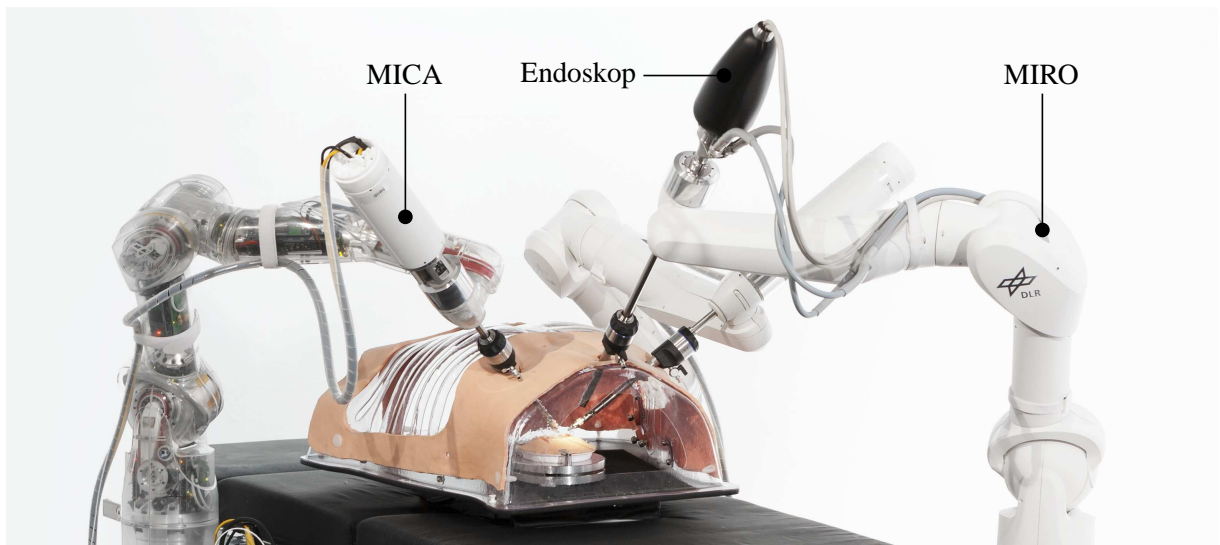


Abbildung 1.4: Das DLR MiroSurge System in einer Konfiguration mit drei MIRO-Roboterarmen als Basis. Diese werden am OP-Tisch befestigt und anwendungsspezifisch mit Instrumenten bestückt. Die Konfiguration verwendet zwei MICA-Einheiten und ein Endoskop. Die MICA-Einheiten bestehen aus einer Antriebseinheit und stabförmigen Endeffektoren zur Gewebemanipulation. Je nach Anwendungen können die MIROS auch mit weiteren Komponenten, wie z.B. einem 3D-Scanner für die Orthopädie ausgestattet werden.

Je nach Anwendung wird eine Konfigurationsvariante verwendet, die den größtmöglichen Erfolg verspricht [29, 30, 41].

Der MIRO-Roboterarm ist der Anatomie des menschlichen Arms nachempfunden und besitzt sieben Freiheitsgrade sowie Drehmomentsensoren in jedem Gelenk. Mit einer Tragkraft von 30N und einem Gewicht von 10kg lässt sich dieser leicht an den OP-Tisch koppeln und somit in ein OP-Setup integrieren [28, 31].

Ein anwendungsspezifisches Instrument ist neben dem Endoskop das minimalinvasive robotische Instrumente MICA. Die MICA besteht aus einer Antriebseinheit und stabförmigen dünnkalibrigen Endeffektoren, wie z.B. Gefäßklämmen oder Marryland-Scheren. Der Antrieb mit angekoppeltem Endeffektor wird als MICA-Instrument bezeichnet. Durch ein Gelenk mit zwei Freiheitsgraden an der Spitze der Endeffektoren wird dem Chirurg der benötigte Bewegungsraum zur Verfügung gestellt. Mit Hilfe eines sterilisierbarer Kraft-Momenten-Sensors an der Instrumentenspitze ist es möglich eine Krafrückkopplung zwischen Gewebe und Eingabekonsolle herzustellen, was ein intuitives Operieren *in situ* ermöglicht [76].

2 Zielsetzung

Aufgabe dieser Studienarbeit für einen Design- und einen Maschinenbaustudenten ist es, einen Assistentenarbeitsplatz für das MiroSurge-System zu entwickeln. Das Konzept soll in einer Benutzerstudie erprobt werden. Im Anschluss daran soll das Modell in Creo aufgebaut und die Fertigung vorbereitet werden. Wenn es der zeitliche Rahmen zulässt, soll der Arbeitsplatz auch noch aufgebaut und in Betrieb genommen werden. Der Assistentenarbeitsplatz ist Teil des Gesamtsystems im Operationssaal neben der Eingabekonsole, den sich am OP-Tisch befindlichen Robotern und den Recheneinheiten. Er soll das OP Personal am Tisch unterstützen, Informationen bereitstellen, Interaktion mit dem System erlauben, Zugänge zu den Geräten (Lichtquelle, HF-Gerät, Wasserstrahlschneider etc.) ermöglichen und eine sichere Aufbewahrung für die Instrumente (MICAs) und handgeführten Instrumente bieten.

Ziel der Arbeiten soll zumindest ein fertig konstruiertes Konzept sein, mit 3D-Modell, einer ausführlichen Stückliste und Informationen zu den Teilen (Lieferant, Preise, Lieferzeit etc.). Wenn möglich wäre es gut, das System aufzubauen.

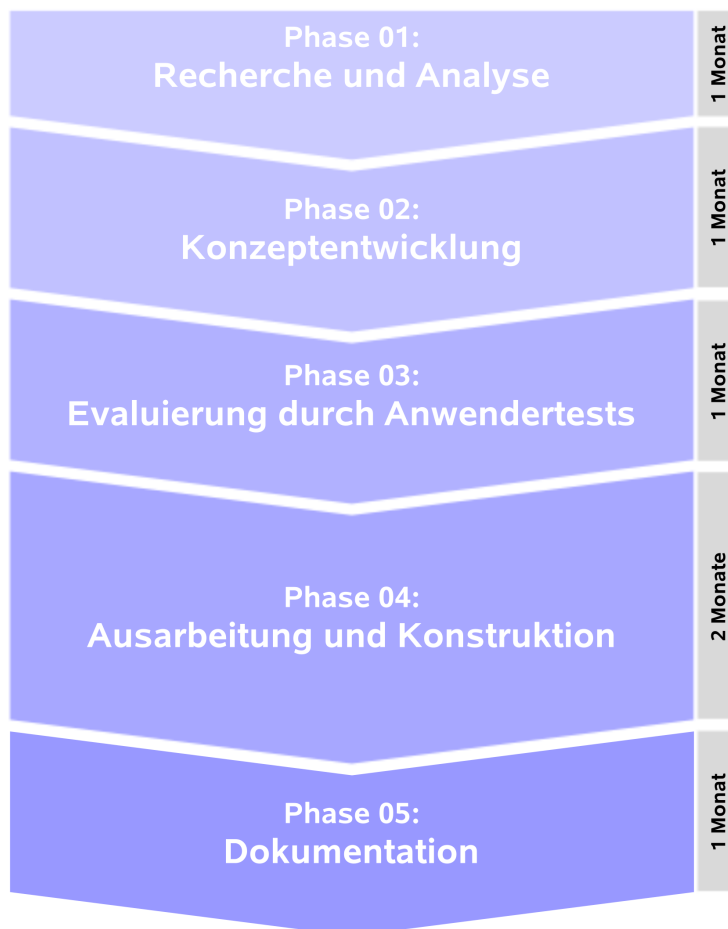


Abbildung 2.1: Zeitlicher Ablauf und Stationen der Arbeit

3 Vorgehensmodelle und Methoden

3.1 Das Münchener Vorgehensmodell als Leitfaden der Arbeit

Das an der TU München entwickelte *Münchener Vorgehensmodell (MVM)* stellt ein Hilfsmittel zur Planung von Entwicklungsprozessen dar und unterstützt den Entwickler insbesondere bei folgenden Handlungen:

- Zur Orientierung innerhalb von Prozessen zur Problemlösung
- Zum situationsbewussten und passenden Methodeneinsatz
- Zur Analyse und Reflexion des Vorgehens

Im Gegensatz zu den meist sehr spezifischen und starren Vorgehensmodellen ist das *MVM* anpassbar gestaltet und soll den Entwickler zu notwendigen Iterationen und zur situationsspezifischen Anpassung ermutigen. Deshalb ist das *MVM* als Netzwerk, mit sich überschneidenden Kreisen und variabel begehbaren Pfaden gestaltet worden. Aufgrund dieser Flexibilität und Anpassbarkeit wurde das *MVM* als Leitfaden für diese Arbeit ausgewählt.

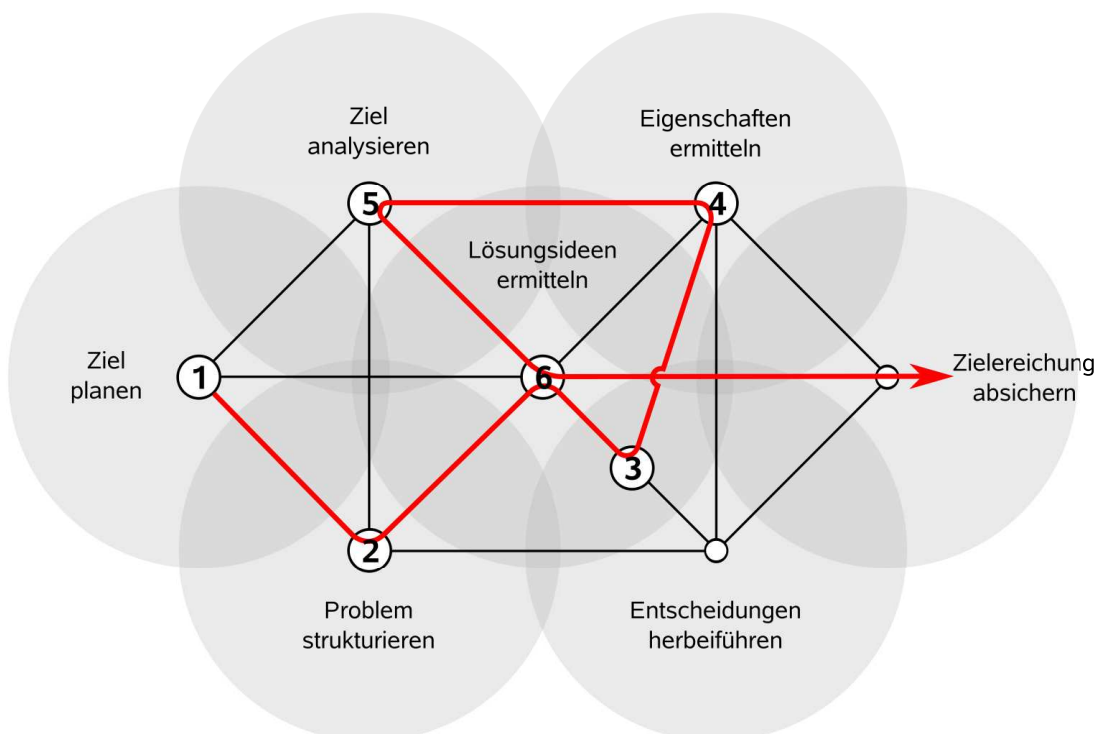


Abbildung 3.1: Das Netzwerk des *MVM* mit seinen, sich überschneidenden, sieben Elementen. Diese müssen nicht der Reihe nach durchlaufen werden, sondern können Situationsspezifisch angewandt werden. Der Pfeilpfad kennzeichnet den Weg durch das *MVM*, der während dieser Arbeit begangen wurde.

Nachfolgend werden die einzelnen Stationen des *MVM* aufgezählt und erläutert, die jedoch nicht zwingend in dieser Reihenfolge durchlaufen werden müssen:

Ziel planen: Das Element der Zielplanung umfasst die Analyse der Situation unter Berücksichtigung aller relevanter Einflussgrößen. Solche können z.B. der Markt, der Nutzer, das Unternehmen, der Wettbewerb oder auch die rechtliche Situation sein. Ziel dieses Elements ist es, die grundlegenden Aufgaben des Entwicklerteams zu erfassen.

Ziel analysieren: Während der Zielanalyse werden aus den zuvor geplanten Aufgaben ein konkreter Zielzustand hergeleitet, den es am Ende des Entwicklungsprozess zu erreichen gilt. In den meisten Fällen resultiert die Zielanalyse in der Erstellung eines Lastenhefts mit detaillierter *Anforderungsliste* [46].

Problem strukturieren: Innerhalb der Problemstrukturierung werden Handlungsschwerpunkte bestimmt, die den Entwickler bei der fokussierten Lösungssuche unterstützen sollen. Dazu muss das System zunächst in übersichtlicher Form modelliert werden, um die Komplexität zu verringern, Denkblockaden zu lösen und Handlungs- und Gestaltungsfreiräume offen zu legen.

Lösungsideen ermitteln: Das Element Lösungsideen ermitteln stellt den zentralen Aspekt innerhalb eines Entwicklungsprozesses dar und befindet sich deshalb in der Mitte des *MVM*. Es soll den Entwickler dabei unterstützen, eine ausreichende Anzahl an Lösungsideen zu ermitteln und zu sortieren. Dieses strukturierte Vorgehen ermöglicht es, realistische Gesamtlösungskonzepte zu erarbeiten, die nachfolgend einer Bewertung unterzogen werden.

Eigenschaften ermitteln: Wurde ein Lösungskonzept gefunden, so muss es untersucht werden, um präzise Aussagen über dessen Eigenschaften treffen zu können. Hierzu werden relevanter Merkmale ermittelt und deren Ausprägungen festgestellt. In einem frühen Entwicklungsstadium können diese Merkmale z.B. die Realisierbarkeit oder die Gebrauchstauglichkeit sein. Es sei ausserdem Angemerkt, dass innerhalb dieses Elements des *MVM* nicht nur Lösungskonzepte untersucht werden können, sondern auch Systeme und Prozesse.

Entscheidungen herbeiführen: Dieses Element unterstützt den Anwender bei der Bewertung von Lösungsideen im Bezug auf die festgelegten Ziele und Anforderungen. Durch dieses reflektierende Handeln wird eine Lösungsidee erst zur Lösungsalternative, da sie auf Tauglichkeit zur Zielerreichung untersucht wird. Aus den möglichen Lösungsalternativen wird die best bewertete ausgewählt und weiterverfolgt.

Zielerreichung absichern: Das Element Zielerreichung absichern soll dem Entwickler eine geeignete Methodenauswahl bereitstellen, um sein Handeln schon früh im Entwicklungsprozess zu reflektieren. Hierzu müssen Risiken erkannt und bewertet werden und schon frühzeitig geeignete Maßnahmen zur Zielerreichung einleiten zu können [46].

3.2 Beschreibung des methodischen Vorgehens innerhalb des Vorgehensmodells

Der Pfeilpfad in Abb.: 3.1, S.11 kennzeichnet den verwendeten Entwicklungsweg, der innerhalb dieser Arbeit verwendet wurde. Nachfolgend werden die konkreten Handlungen innerhalb der Stationen aufgezeigt und die verwendeten Methoden beschrieben.

3.2.1 Erster Schritt: Ziel Planen

Während der Zielplanung wurden neben einer umfassenden Literaturrecherche folgende Methoden verwendet, um ein Verständnis für die Problemstellung zu erlangen. Am Ende dieses Schritts wurden fünf frühe Zielsetzungen formuliert.

3.2.1.1 Interviews und Befragungen

Um eine gezielte Informationbeschaffung zu betreiben, bietet sich in vielen Fällen die Methode des *Interviews* an [46]. Im Rahmen der Aufgabenklärung können so Expertenmeinungen eingeholt und verglichen werden. Zunächst wird der Fragegegenstand und der zu befragende Personenkreis festgelegt. Danach muss das Interview vorbereitet werden, indem man eine geeignete Fragetechnik auswählt und eine Struktur vorbereitet [7, 43]. Durch Mitschrift oder Mitschnitt kann das Interview im Nachhinein nachvollzogen und ausgewertet werden [46].

Innerhalb der Arbeit nahmen die Akteure der Medizingruppe des DLRs an einem offenen, teilstrukturierten Interview zum MiroSurge-System teil.

3.2.1.2 Benchmarking

Beim *Benchmarking* werden Systeme zweier Hersteller miteinander verglichen, um die wichtigsten Kenngrößen zu ermitteln und Verbesserungspotentiale zu identifizieren. Dieses Vorgehen ist auch auf Prozesse anwendbar. Zunächst wird das Ziel festgelegt und der Benchmarkingpartner bestimmt. In Beobachtungen und Untersuchungen werden zu den gewünschten Vergleichsgrößen Kenngrößen bestimmt und daraus Verbesserungspotenziale abgeleitet [46]

Innerhalb des Entwicklungsprozesses wurde ein *Benchmarking* mit dem Konkurrenzprodukt DaVinci durchgeführt. Außerdem wurden OP-Komponenten verschiedener Hersteller hinsichtlich Baugröße und Anschlüsse miteinander verglichen.

3.2.2 Zweiter Schritt: Problem strukturieren

Innerhalb des Entwicklungsprozesses war eine frühe Untersuchung bestehender Systeme zweckmäßig, um die frühen Ziele zu konkretisieren und die Schwerpunkte des erforderlichen Handelns festzulegen. Dazu wurde der Arbeitsprozess mit dem DaVinci durch *Feldbeobachtungen* analysiert und mittels *kognitivem Durchgangs* dokumentiert. Eine *relationsorientierte Funktionsmodellierung* half dabei, schädliche Funktionen zu identifizieren. Diese wurden mittels einer *Problemformulierung* prägnant beschrieben und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet.

3.2.2.1 Feldbeobachtung

Bei der Methode der *Feldbeobachtung* werden die Arbeitsbedingungen und die Arbeitsumgebung sowie die anfallenden Prozesse innerhalb einer realen Situation beobachtet. Diese Methode wird häufig zu Beginn eines Entwicklungsprozesses angewandt, um ein grundsätzliches Systemverständnis zu fördern. Um einer *Feldbeobachtung* zusätzliche Aussagekraft zu verleihen, wird diese optimalerweise von Doppexperten durchgeführt [9].

Die *Feldbeobachtungen* wurden deshalb zusammen mit dem Teampartner aus der Fachrichtung Industrial Design durchgeführt, um alle Aspekte der Gebrauchstauglichkeit, der Ergonomie und der technischen Komplexität abzudecken. Die gewonnenen Eindrücke wurden fotografisch und schriftlich festgehalten und mittels einer geeigneten Funktionsmodellierung nachbereitet.

3.2.2.2 Strukturierte Feldforschung

Bei dieser Methode wird die *Feldbeobachtung* mit *Benutzerinterviews* kombiniert. Der Entwickler kommuniziert die gewonnenen Beobachtungen direkt mit den Benutzern, wodurch er diese zu seinen Partnern im Entwicklungsprozess macht. Auf lange Sicht verliert die *Feldbeobachtung* dadurch ihren experimentellen Charakter, wodurch typische Versuchsstörgrößen reduziert werden [9]. Es sei allerdings angemerkt, dass dadurch die Allgemeingültigkeit der gewonnenen Aussagen leiden könnte. Im ungünstigsten Fall wird ein System entwickelt, das speziell auf die Bedürfnisse des beteiligten Benutzerteams zugeschnitten ist.

Während der OP-Besuche wurde intensiv mit den Akteuren kommuniziert, was den *Feldbeobachtungen* strukturierten Charakter verliehen hat.

3.2.2.3 kognitiver Durchgang

Bei der Methode des *kognitiven Durchgangs* werden beobachtete Handlungsabläufe grafisch oder textuell in Reihenfolge gebracht und von einem Entwicklungsexperten durchlaufen. Ziel der Methode ist es, die erforderlichen Handlungsschritte zu erklären und Differenzen zwischen Entwickler- und Benutzersicht aufzudecken [46].

Innerhalb dieser Arbeit wurden die Ergebnisse der *Feldbeobachtungen*, ergänzend zur *Funktionsmodellierung*, durch diese Methode dargestellt. Außerdem wurde ein fiktiver *kognitiver Durchgang* zur Nutzung des Produktkonzepts durchgeführt.

3.2.2.4 relationsorientierte Funktionsmodellierung

Die Anwendung von *Funktionsmodellierungen* unterstützt den Entwickler beim Verständnis eines komplexen Systems und hilft bei der Festlegung von Entwicklungsschwerpunkten. Durch diese Art der Abstraktion werden Problemstellungen handhabbar gemacht, Denkblockaden gelöst und Zugang zu Lösungsideen eröffnet. [20]

Als eine Spezialform der Methode zielt die *relationsorientierte Funktionsmodellierung* auf das Erkennen der Zusammenhänge, der Stärken und der Schwächen eines Systems ab. Dazu muss

zunächst ein geeigneter Abstraktionsgrad und eine geeignete Systemgrenze gewählt werden. Alle beobachteten, nützlichen und schädlichen Funktionen des Systems werden aufgelistet und je nach Relation miteinander verknüpft. Anschließend sollten mittels einer *Problemformulierung* konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, um die wesentlichen schädlichen Funktionen zu vermeiden [46, 58].

Innerhalb des Entwicklungsprozesses wurde die *relationsorientierte Funktionsmodellierung* auf das System OP-Saal angewandt. Dieses umfasste alle relevanten Akteure und OP-Komponenten während der preoperativen, intraoperativen und postoperativen Phase eines Eingriffs.

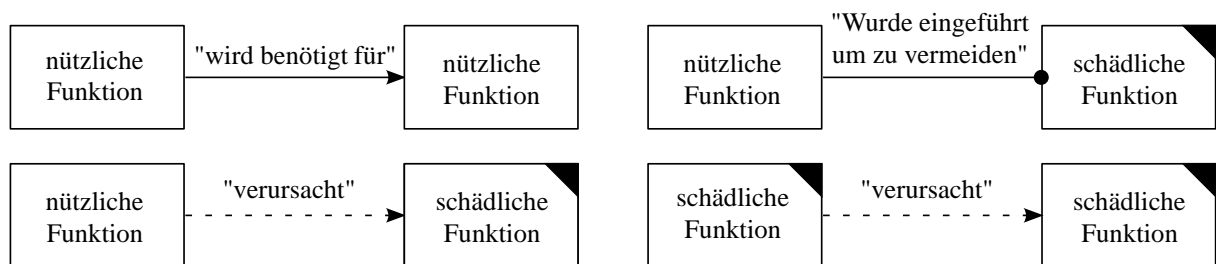


Abbildung 3.2: Legende der *relationsorientierten Funktionsmodellierung*. Es existieren zwei Arten von Blöcken um nützliche und schädliche Funktionen zu kennzeichnen. Diese können durch vier verschiedene Relationen, je nach Konstellation, miteinander verknüpft werden. Eine nützliche Funktion kann von einer nützlichen Funktion benötigt werden, oder eine schädliche Funktion vermeiden. Schädliche Funktionen werden entweder von einer nützlichen, oder einer schädlichen Funktion verursacht.

3.2.2.5 Problemformulierung

Um die Zielorientierung zu erhöhen, Entwicklungsschwerpunkte zu setzen und konkrete Handlungsempfehlungen abzuleiten, sollte nach einer *relationsorientierten Funktionsmodellierung* die Methode der *Problemformulierung* angewandt werden [46]. Hierzu werden die schädlichen Funktionen der *relationsorientierten Funktionsmodellierung* in einer Tabelle aufgelistet und nacheinander auf charakteristische Konstellationen untersucht (siehe Tab.:3.1, S.16) [58].

Im Entwicklungsprozess wurde zu jeder Konstellation die geeignetste Problemformulierung ausgewählt und zusammen mit der Begründung in einer Tabelle dokumentiert. Ausgehend davon wurden konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet und ebenfalls in die Tabelle eingetragen.

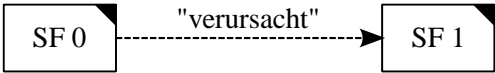
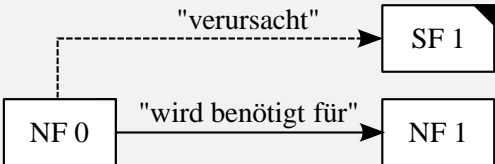
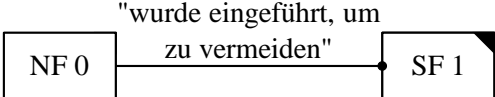
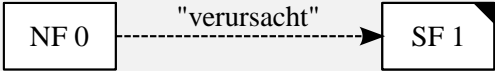
Charakteristische Konstellationen	Problemformulierung
 <pre> graph LR SF0[SF 0] -.-> verursacht SF1[SF 1] </pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Finde eine Möglichkeit, um [SF 1] zu vermeiden. • Finde einen alternativen Weg, um [SF 0] zu ermöglichen, der nicht [SF 1] verursacht.
 <pre> graph LR NF0[NF 0] -.-> verursacht SF1[SF 1] NF0 --> wird benötigt für NF1[NF 1] </pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Finde eine alternative Möglichkeit (NF 0), die (NF 1) ermöglicht und nicht [SF 1] verursacht. • Finde einen Weg, den Widerspruch aufzulösen: (NF 0) ermöglicht (NF 1), ohne [SF 1] zu verursachen.
 <pre> graph LR NF0[NF 0] --> wurde eingeführt, um zu vermeiden SF1[SF 1] </pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Finde eine alternative Weg [SF 1] zu vermeiden, der nicht (NF 0) voraussetzt. • Finde einen Möglichkeit, von [SF 1] zu profitieren.
 <pre> graph LR NF0[NF 0] -.-> verursacht SF1[SF 1] </pre>	<ul style="list-style-type: none"> • Finde eine Möglichkeit (NF 0) zu vermeiden. • Finde eine Möglichkeit [SF 1] zu vermeiden oder zu vermindern unter der Bedingung, dass (NF 0) erfolgt.

Tabelle 3.1: Auflistung der am häufigsten vorkommenden charakteristischen Konstellationen. Davon ausgehend können Problemformulierungen ausgewählt werden und dadurch Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

3.2.3 Dritter Schritt: Lösungsideen ermitteln und Entscheidungen herbeiführen

Es folgte die Lösungssuche, innerhalb der Teillösungen identifiziert und in einem *morphologischen Kasten* geordnet wurden. Somit wurde ein strukturierter Lösungsraum zu Konzeptfindung bereitgestellt. Dieser Lösungsraum wurde bewertet und draus ein Gesamtkonzept abgeleitet. Innerhalb des *MVM* befand sich dieser Schritt in der Teilmenge zwischen den Elementen Lösungsideen ermitteln und Entscheidungen herbeiführen.

3.2.3.1 Brainstorming

Ziel eines *Brainstormings* ist es, erste Lösungsideen zu erzeugen. Es ist einer ganzheitlichen Lösungssuche zuträglich, wenn Ideen in einer Vielzahl geäußert werden. Diese dürfen zunächst auch unkonventionell und unrealistisch erscheinen. Somit bleibt keine Lösungsidee unausgesprochen, was wiederum die Teilnehmer anregt und zur Analogiebildung ermutigt. Ein *Brainstorming* muss allerdings, zur besseren Strukturierung, stets moderiert und nachbereitet werden, um die Informationsflut bewältigen zu können [46, 54].

Innerhalb des Entwicklungsprozesses wurde beobachtet, dass sich Besprechungen mit dem Klinikpersonal oftmals zu spontane *Brainstormings* entwickelten. Diese breichsübergreifende Kommunikation wurde nicht unterdrückt sondern dokumentiert und nachbereitet.

3.2.3.2 Effektsammlung

Zur konkreteren Lösungssuche werden innerhalb von Entwicklungsprozessen oftmals *Effektsammlungen* verwendet, die eine Vielzahl an physikalischen Effekten, chemischen Wechselwirkungen und technischen Anwendungen auflisten. Dadurch ist es möglich, Denkblockaden zu lösen und einen schnellen Zugriff auf eine breite Palette an bewährten technischen Lösungen zu ermöglichen. Voraussetzung für die Verwendung dieser *Effektsammlungen* ist die Strukturierung der Problemstellung in Teilprobleme, die konkrete Funktionen erfüllen müssen. Zu diesen Funktionen werden Effekte gesammelt, zu Ketten kombiniert und anschließend bewertet [46, 58].

Im Entwicklungsprozess wurde diese Methode bei der Konzeptfindung und der Ausarbeitung erster konstruktiver Details verwendet.

3.2.3.3 Morphologischer Kasten

Der *morphologische Kasten* stellt ein eindimensionales Ordnungschema für Teillösungen dar, mit dem Ziel, den Überblick über den Lösungsraum zu bewahren [46]. Die einzelnen Teilprobleme werden in die Kopfspalten des Kastens eingetragen und mit den ermittelten Teillösungen gefüllt. Wurde der Überblick über den Lösungsraum erfolgreich hergestellt, kann damit begonnen werden, die Teillösungen zu diskutieren und zu Gesamtlösungsideen zu kombinieren [20, 46, 54, 58].

Im Entwicklungsprozess wurde ein *morphologischer Kasten* zu jedem definierten Entwicklungsschwerpunkt mit Teillösungen befüllt und daraus ein konsistentes Gesamtkonzept abgeleitet.

3.2.4 Vierter Schritt: Eigenschaften ermitteln

Das Gesamtlösungskonzept wurde auf Gebrauchstauglichkeit durch einen *Benutzertest* untersucht um Verbesserungen frühzeitig in das Konzept einfließen zu lassen.

3.2.4.1 Benutzertest

Innerhalb eines Benutzertests werden bestehende Produkte oder Prototypen in einer Laborumgebung getestet und anschließend bewertet. Hierzu werden Anwendungsszenarien simuliert, innerhalb derer komplexe Bedienabläufe auf elementare Arbeitsschritte reduziert werden. Ziel dieser Methode ist die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit des Testobjekts. Besondere Indizien für eine mangelhafte Gebrauchstauglichkeit sind das Auftreten von Fehlbedienungen und probierenden Handlungen sowie lange Bearbeitungszeiten.

Die Auswahl der Probanden sollte die Benutzergruppe möglichst gut repräsentieren. Im Allgemeinen kann davon gesprochen werden, dass die Qualität der Ergebnisse umso besser ist, je genauer sich die Benutzergruppe von der Allgemeinbevölkerung abgrenzen lässt [9].

In dieser Arbeit waren die Probanden fachkundiges Personal der kooperierenden Kliniken. Die Nutzung des Prototypen wurde zuvor anhand eines *kognitiven Durchgangs* erklärt, worauf hin die Probanden ein Nutzungsszenario selbstständig nachstellten. Die Handlungen wurden fotografisch dokumentiert und die subjektiven Meinungen durch die Durchführung eines *Interviews* eingeholt.

3.2.5 Fünfter Schritt: Ziel analysieren

Erst jetzt wurden innerhalb einer Zielanalyse die technischen Anforderungen für das verifizierte Gesamtkonzept des Assistentenarbeitsplatzes festgelegt. Diese wurden aus den zuvor gesammelten Ergebnissen und Produktdatenblätter der im Labor vorhandenen OP-Komponenten zusammengetragen. Das Resultat dieses Schrittes war ein vollständiges Lastenheft, das die Prototypenkonstruktion unterstütze.

3.2.5.1 Anforderungsliste

Eine Anforderung beschreibt ein Produktmerkmal und dessen Ausprägung [46]. Zu Beginn und während des Entwicklungsprozesses werden diese Anforderungen gesammelt und in eine *Anforderungsliste* eingepflegt. Dieses Vorgehen dient zum einen der Strukturierung und Dokumentation von Produktmerkmalen und zum anderen zum Schaffen einer gemeinsamen Kommunikationsbasis. Verschiedenste Akteure können ihre Wünsche und Forderungen in einer solchen Liste kommunizieren. Anforderungen und ihre Änderungen werden außerdem fortlaufend

überwacht und kontrolliert, was nicht zuletzt der Absicherung der Zielerreichung zuträglich ist. Dokumentiert werden Anforderungen mindestens durch Nummer, Beschreibung, Bezeichnung und Wert. Optionale Attribute, wie Verantwortlichkeit oder Status, können bei Bedarf ergänzt werden. Diese Liste wird in einem Lastenheft abgelegt, das als rechtliche Grundlage und Bewertungshilfe dient [20, 46, 54].

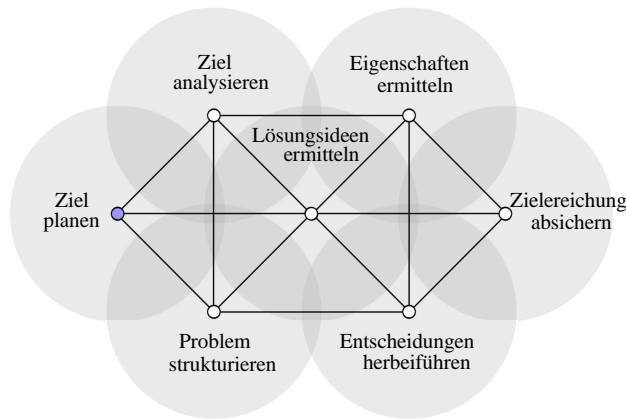
Die *Anforderungsliste* wurde nach dem erfolgreichen *Benutzertest* angefertigt, um eine Grundlage für die Konstruktion des Prototyps und des späteren Produkts bereitzustellen. Mit dem Erstellen dieser Liste wurde die Konzeptphase abgeschlossen und die Konstruktionsphase begonnen.

3.2.6 Sechster Schritt: Konstruktive Details des Prototyps

Im folgenden Schritt wurden ein Prototyp mittels CAD-Software konstruiert, der die technische Anforderungsliste erfüllt. Dieser stellte die zweite Iteration des Elements Lösungsideen ermitteln dar. Das Resultat war eine Stückliste aller verwendeten Zukaufteile und ein rechnergestütztes Baugruppenmodell. Zur Unterstützung der Konstruktion wurden wiederum die Methoden der ersten Lösungssuche verwendet.

4 Ergebnisse

4.1 Zielplanung



Innerhalb der Zielplanung wurde das Miro-Surge System mittels *Interviews* und *Benchmarking* analysiert. Diese Methoden wurde durchgeführt, um die Komponenten des DLR MiroSurge-Systems zu erfassen und, um ein grundsätzliches Systemverständnis aufzubauen. Es wurden subjektive Meinungen zur Erscheinung des Assistentenarbeitsplatzes von den Stakeholdern innerhalb der Medizingruppe des DLRs eingeholt. Außerdem wurde eine allgemeine Literaturrecherche durchgeführt, um ein Verständnis vom Arbeitsumfeld

einer chirurgischen Abteilung zu erlangen. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurden erste Ziele geplant, die im weiteren Entwicklungsprozess zu konkretisieren galt.

4.1.1 Disziplinspezifische Einstellungen der Stakeholder

Ein wichtiger Aspekt war die Berücksichtigung aller Disziplinen. Da der Arbeitsplatz vorrangig für die Forschung innerhalb des DLRs entworfen werden sollte, war es ein wichtiger Punkt, dass alle Stakeholder innerhalb ihrer weiteren Arbeiten gleichermaßen Nutzen aus der Entwicklung ziehen können. Durch die Befragungen wurde erkannt, dass die Hauptverantwortlichen des MiroSurge-Projekts Wert auf ein stimmiges Produktkonzept für eine mögliche Vermarktung legten, während Wissenschaftler aus den Bereichen Systemdynamik und Regelungstechnik eine Lösung forderten, die innerhalb möglicher Tierversuche Funktionalität beweisen und weitere Forschungspotenziale aufzeigen kann. Außerdem konnte beobachtet werden, dass Wissenschaftler mit einem techniklastigen Hintergrund ein hochintegriertes Gesamtsystem forderten, während Wissenschaftler mit tieferen Kenntnissen der medizinischen Seite vor zu hoher Komplexität von Gesamtsystemen warnten. Es sei erklärend hervorgehoben, dass hier Komplexität unterschiedlich verstanden werden kann. Während Komplexität innerhalb der technischen Komponenten unvermeidbar ist, muss laut Befragung besonders auf eine reduzierte Komplexität hinsichtlich Bedienbarkeit und Sterilisierbarkeit geachtet werden. Hier zeigt sich die erste Schwierigkeit innerhalb des Entwicklungsprozesses: Es musste ein Arbeitsplatz für die Forschung entworfen werden, der alle technischen Komponenten enthält, aber auf der anderen Seite das medizinische Personal in Benutzertests nicht durch zu hohe technische Komplexität abschreckt. Diesen Widerspruch galt es im Entwicklungsprozess zu vermeiden.

4.1.2 Das Arbeitsumfeld innerhalb einer Abteilung der minimalinvasiven Chirurgie

Ein weiterer wichtiger Punkt war es, das Arbeitsumfeld einer chirurgischen Abteilung, die auf dem Gebiet der minimalinvasiven Chirurgie tätig ist, zu erfassen. Hierzu wurden alle Akteure aufgelistet und ihr Tätigkeitsbereich kurz beschrieben. Außerdem wurde eine Recherche zur Analyse der Kommunikationsstruktur innerhalb einer MIRS-OP durchgeführt. Aus diesen Informationen wurden die Akteure bestimmt, für die der Arbeitsplatz ausgelegt werden sollte. Eine Recherche zum Umfang der verwendeten OP-Komponenten gab weiterhin Aufschluss über die Gestalt des Arbeitsbereiches "Sterilfeld".

4.1.2.1 Zur Rolle der OP-Assistenten

Innerhalb eines OP-Teams sind sowohl akademische Berufsfelder, als auch klassische Ausbildungsberufe anzutreffen [11, 80]. Es bestehen klare hierarchische Strukturen und Verhaltensregeln, die es unbedingt einzuhalten gilt [80]. Nachfolgend werden die Akteure innerhalb des Sterilfeldes und deren direkte Helfer ihrer hierarchischen Stellung nach aufgezählt.

Operateur: Der Operateur trägt die Verantwortung über den gesamten Eingriff [80]. Er bestimmt die Operationstechnik und den Ablauf der Operation [32, 42, 64, 68]. Eine abgeschlossene Ausbildung zum Facharzt ist Voraussetzung [11]. Während sich der Operateur bei einem klassischen laparoskopischen Eingriff am Tisch befindet, operiert er bei einer MIRS-OP telepräsent von der Chirurgiekonsole aus [71].

Assistenzchirurg (Assistent): Der Assistenzchirurg befindet sich in der Ausbildung zum Facharzt und unterstützt den Chirurgen durch Arbeiten, wie z.B. Absaugen von Flüssigkeit, Blutstillen oder Knüpfen der Fäden [11, 80]. Während der *Feldbeobachtungen* wurde erkannt, dass sich der Verantwortungsbereich des Assistenten in einer MIRS-OP ausweitet. Da der Operateur nicht mehr am OP-Tisch agiert, wird der Assistent zum ersten Verantwortlichen am OP-Tisch und schlägt die Brücke zwischen virtueller Präsenz des Operators und dem realen OP-Feld.

Instrumentierschwester (Schwester): Die Instrumentierschwester bereitet alle Komponenten und später die sterilen Instrumente vor [53, 64, 80]. Sie wäscht den Operateur und den Assistenten steril ein und reicht während der OP die benötigten Instrumente an [80]. Beobachtungen zeigten auch hier, dass sich ihr Verantwortungsbereich ausweitet. Innerhalb einer MIRS-OP übernimmt die Schwester das Draping des Roboteraufbaus, den Instrumentenwechsel und teilweise die Überwachung des Systems.

Beidienst (Springer): Die Schwester bezieht ihre Hilfe durch einen unsterilen Helfer im Beidienst [80]. Dieser Springer reicht benötigte Instrumente und Sterilgut an, bedient technische Komponenten und erstellt das OP-Protokoll [80].

Anästhesie-Team: Das Anästhesie-Team besteht mindestens aus einem Facharzt der Anästhesie. Zusätzlich befinden sich im OP-Saal je nach Situation eine Anästhesie-Schwester und eventuell Fachärzte in der Ausbildung [68]. Das Anästhesie-Team positioniert sich meist am Kopfende des OP-Tischs [32, 80].

WEBER *et al* haben die Veränderungen der Kommunikationsstruktur innerhalb einer MIRS-OP untersucht. Bei Eingriffen mit dem DaVinci-System nahm die Kommunikation zwischen Assistent und Operateur zu, während sich die Kommunikation zwischen Operateur und Schwester etwa halbierte. Dahingegen nahm die Kommunikation zwischen Assistent und Schwester um das dreifache zu [81]. Schwester und Assistent kommunizierten häufig Probleme, ausgehend von einem nicht optimalen Roboteraufbau, die meist von der Schwester gelöst wurden [36, 48, 81]. In den *Feldbeobachtungen* wurde beobachtet, dass Aufforderungen zum Anreichen von Instrumenten nur noch vom Assistent an die Schwester gerichtet wurden. Kommunikation über Koordinationsprobleme *in Situ* und über anatomische Strukturen fanden fast ausschließlich zwischen Operateur und Assistent statt. Diese Erkenntnisse ließen Rückschlüsse auf einen veränderten Verantwortungsbereich am OP-Tisch zu. Der Assistent nimmt den Platz des Operateurs am Tisch ein und leitet die Schwester an. Diese interagiert wiederum mit dem Robotersystems und überwacht dieses, während sich der Assistent auf das Endoskopbild konzentriert. Als relevante Akteure für den Entwicklungsprozess wurden daher der Assistent und die Schwester identifiziert, da sie direkt mit dem OP-Setup und dem Patienten interagieren. Deshalb wurde der Arbeitsplatz unter besonderer Rücksichtnahme auf die Bedürfnisse dieser Akteure entwickelt.

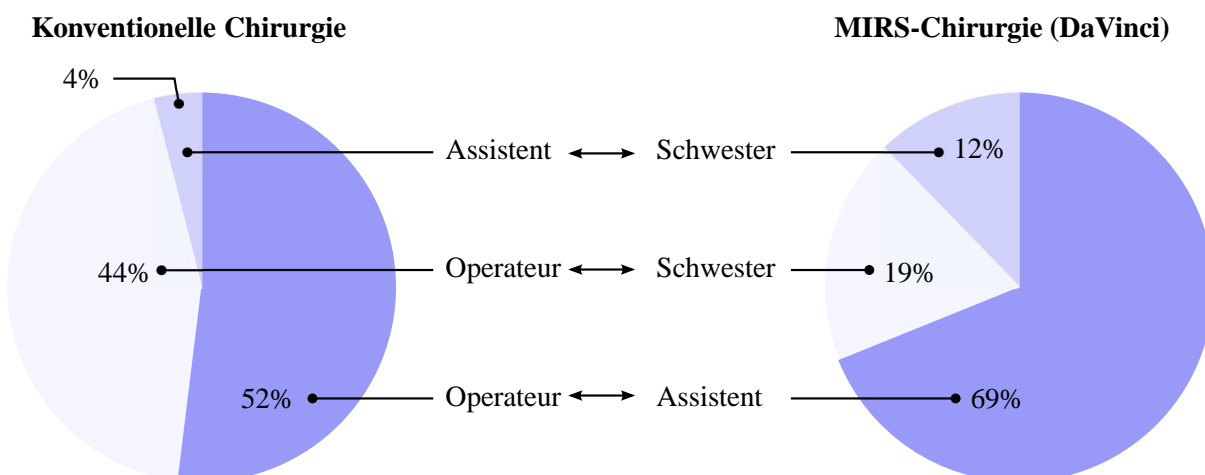


Abbildung 4.1: Kommunikationsanteile innerhalb eines konventionellen Eingriffs und einer MIRS-OP. Die Gesprächsanteile zwischen dem Assistenten und der Schwester haben sich verdreifacht, während die Kommunikation zwischen Operateur und Schwester um mehr als die Hälfte abgenommen haben. Der Operateur kommunizierte dem Assistenten gegenüber 16% mehr Gesprächsanteile. Hauptinhalte dieser hinzugekommenen Anteile waren Materialprobleme (z.B. abgerissene Faden) und Koordinationsschwierigkeiten [81].

4.1.2.2 Komponenten eines MIRS-System am Beispiel des DLR MiroSurge-Systems

Die Komponentenanzahl einer MIRS-OP unterscheidet sich mitunter erheblich von der einer klassischen Chirurgie [78]. CLAUS *et al* stellten einen zusätzlichen Raumbedarf bei einem laparoskopischen Eingriff im Gegensatz zur konventionellen Chirurgie von 10% fest [15]. Bei einer MIRS-OP erhöht sich die Komponentenanzahl nochmals. Es wurden alle relevanten Komponenten eines OP-Saals, der Laparoskopie und des Laborbestands erfasst und aufgelistet. Klassische Komponenten sind neben den Infusionsständern und dem Anästhesieturm die **Instrumentenwagen**, auf denen die Schwester ihren Arbeitsplatz einrichtet [32, 68, 80]. Dieser Arbeitsplatz umfasst das Operationsmaterial, Instrumente, das Standardsieb für eine mögliche Konversion und die Roboterinstrumente. Die Arbeitsflächen dieser Wagen bestehen aus Edelstahl und sind

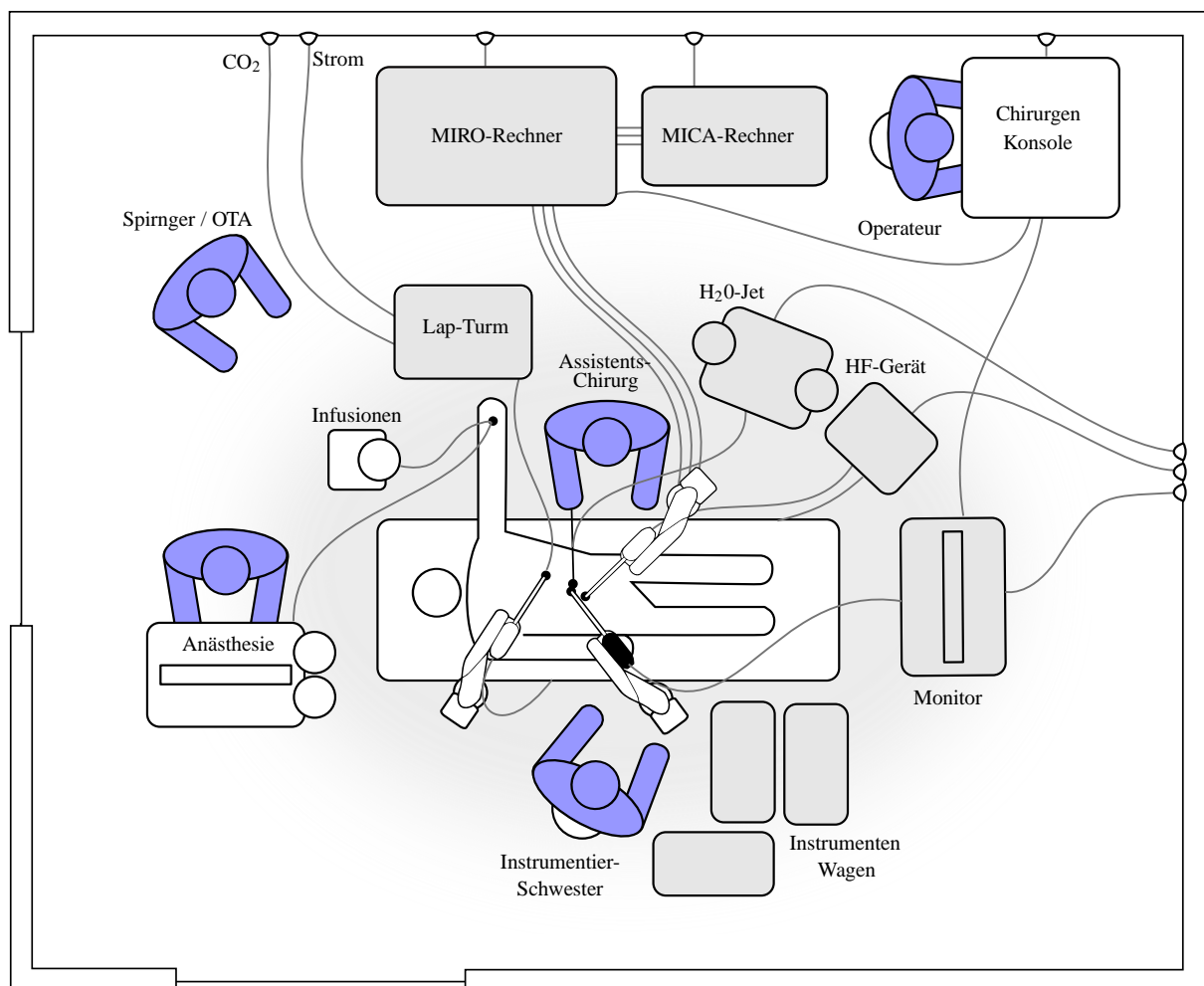


Abbildung 4.2: Mögliches Setup des MiroSurge-Systems mit allen erforderlichen laparoskopischen OP-Komponenten. Jede Komponente besitzt neben der Netzversorgung zusätzliche Daten- oder Versorgungsleitungen. Die Vielzahl an Komponenten resultiert zwangsläufig in einem schwer zugänglichen OP-Saal. Verkabelungen bergen das Risiko von Stolperfällen und daraus resultierenden Systemausfällen.

deshalb einfach zu reinigen und zu sterilisieren [68, 83]. Bei der laparoskopischen Chirurgie bedarf es weiterhin eines **Gasinsufflators** zur Aufrechterhaltung des Pneumoperitoneums sowie einer medizinischen **Lichtquelle** und einer **Bildverarbeitungseinheit** zum Betrieb des Endoskops [14, 40, 61]. Weiterhin benötigt man einen **Monitorwagen** zur Ausgabe des Endoskopbildes. Als Dissektor-System kommt standardmäßig ein **HF-Gerät** mit Möglichkeit zu monopolarer und bipolarer Koagulation zum Einsatz [14, 40, 61]. Ein **Wasserstrahlschneider** stellt eine weitere Möglichkeit zur Dissektion von Gewebe dar und wird im Labor des DLRs verwendet. Zum Robotersystem zählen die **MIRO**- sowie **MICA**-Einheiten, die dazugehörigen **Rechner** und die **Chirurgenkonsole**. Diese Komponenten sind untereinander durch Versorgungs- und Datenleitungen verbunden. Abb.: 4.2, S.23 zeigt ein mögliches Setup des MiroSurge-System mit allen erforderlichen laparoskopischen OP-Komponenten. Innerhalb der *Feldbeobachtungen* wurden während Eingriffen mit dem DaVinci-System ähnliche Anordnungen verwendet. VAN VEELEN *et al* stellten zudem fest, dass die meisten Krankenhäuser weltweit sehr ähnliche Komponenten und Setups für die Laparoskopie verwenden [78]. Deshalb wird davon ausgegangen, dass nachfolgende Abbildung repräsentativen Charakter aufweist. Wird eine Lösung für einen OP-Saal mit dieser Struktur formuliert, so kann davon ausgegangen werden, dass diese für die meisten Anwendungsfälle Gültigkeit besitzt.

Auffällig war, dass die Chirurgenkonsole meist, vermutlich aus Platzgründen, fern des OP-Feldes in einer Raumecke positioniert war. Diese Tatsache könnte die bereits beschriebenen Kommunikationsprobleme zwischen Operateur und Assistenten verstärken. Außerdem wurde ersichtlich, dass viele Laufwege blockiert waren und die einzelnen Kabel Stolperfallen darstellen könnten. Eine Umstrukturierung der OP-Setups könnte einer besseren Arbeitsumgebung für das OP-Team zuträglich sein.

4.1.3 Alleinstellungsmerkmale des DLR MiroSurge-Systems

In folgendem Abschnitt wurden die Alleinstellungsmerkmale des MiroSurge-Systems durch eine Literaturrecherche der veröffentlichten Publikationen erfasst. Sind diese Vorteile bekannt, können die Entwicklungsziele so gewählt werden, dass auch der Arbeitsplatz diese Alleinstellungsmerkmale aufgreift und beinhaltet.

Bestehende MIRS-Systeme sind meist spezialisiert, d.h. der Fokus ihrer Anwendung liegt auf einem bestimmten Fachgebiet der Chirurgie [26, 30]. Das DLR MiroSurge-System hingegen, wurde für eine **vielseitige Anwendung** entwickelt, was den Einsatz in Uroonkologie, Laser-Osteotomie, Herz- und Gefäßchirurgie u.v.a. ermöglichen soll [29, 30, 35, 41, 48, 76]. Eine Erweiterung durch flexible Endeffektoren der MICA-Einheiten kann zusätzlich den Bereich der Gastroenterologie für die MIRS-Technik zugänglich machen [30]. Nicht zuletzt erscheint es vor dem Hintergrund der hohen Anschaffungskosten eines MIRS-Systems von ca. einer Million Euro wünschenswert, dieses System für eine breite Palette an chirurgischen Eingriffen verwenden

zu können [10, 24].

Das DLR MiroSurge-System erreicht seine **Flexibilität** durch einen modularen Aufbau. Die MIROs können, je nach anwendung, flexibel mit MICAs oder weiteren Komponenten, wie z.B. dem VR-Scann¹, bestückt werden [29, 30, 41]. Außerdem ermöglicht die Leichtbauweise der MIROs eine einfache Integration in das OP-Setup und in bestehende OP-Säle [28, 30, 31, 41]. Eine Erweiterung auf vier und mehr Roboterarme ist dabei möglich [30]. Im Gegensatz dazu wurde in einigen Fällen berichtet, dass Kliniken ihre OP-Säle Renovierungen und Umbauten unterziehen mussten, um das hoch spezialisierte Konkurrenzprodukt DaVinci in die OP-Säle integrieren zu können [67]. Diese Flexibilität ermöglicht nicht zuletzt den Einsatz der MIROS innerhalb komplizierten OP-Setups, Patientenlagerungen und mit Komponenten überfüllte OP-Säle [30, 67]. Eine einfache und zeitsparende Integration des DLR MiroSurge-Systems in den bestehenden Workflow der OP-Teams erscheint daher erstrebenswert [29, 30, 41].

Ein weiterer Entwicklungsaspekt ist die **Sicherheit** für Patient und OP-Team. Bei der Arbeit mit dem DaVinci-System wurden häufig Kollisionen zwischen dem Assistenzchirurg am Tisch und den Roboterinstrumenten beobachtet und berichtet [48]. Außerdem mussten aufgrund des limitierten Arbeitsraums und der unzureichenden präoperativen Planung in einigen OPs neue Trokare gestochen werden [36, 48]. Daher benutzt das DLR MiroSurge-System zusätzliche Sensordaten sowie ein durchdachtes Planungs- und Informationsmanagement für den Operateur, um eine bestmögliche Überwachung und Kontrolle des OP-Setups zu ermöglichen [35].

4.1.4 Zieldefinition

Folgende frühe Ziele wurden während der Planungsphase definiert, die während der nachfolgenden Problemstrukturierung durch Entwicklungsfokusse ergänzt wurden.

1. Der Arbeitsplatz soll die Flexibilität des MiroSurge-Systems aufgreifen.
2. Der Arbeitsplatz soll vielseitig sein und sich an unterschiedliche OP-Szenarien und OP-Teams anpassen.
3. Der Arbeitsplatz soll die benötigten Komponenten, Instrumente und Materialien einfach zugänglich machen.
4. Der Arbeitsplatz soll die für jeden Akteur relevanten Informationen leicht verständlich und gut einsehbar darstellen.
5. Der Arbeitsplatz soll das benötigte OP-Zubehör kompakt zusammenführen.

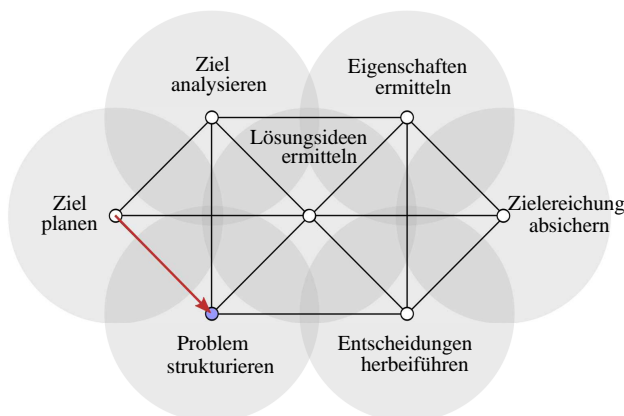
¹Am DLR entwickelter Laserscanner zur Erfassung der Patientengeometrie für eine nachfolgende Berechnung des OP-Setups

Die Ziele der **Felxibilität** und **Vielseitigkeit** wurden aus den Alleinstellungsmerkmalen abgeleitet. Sie stellen die wesentlichen Innovationsaspekte des DLR MiroSurge-Systems dar und müssen daher zwingend erfüllt werden. Während das Ziel der Flexibilität darauf abzielt, dass der Arbeitsplatz möglichst einfach zu integrieren sein sollte, fordert das Ziel der Vielseitigkeit, dass der Arbeitsplatz in den unterschiedlichsten Anwendungsgebieten einsetzbar sein sollte. Eine durchdachte **Bereitstellung der Komponenten, Instrumente und Materialien** trägt dazu bei, den Workflow des Assistenzchirurges und der OP-Schwester, die an dem Patienten agieren, zu unterstützen und zu verbessern.

Das **Bereitstellen wichtiger Informationen** wurde aus der Tatsache der veränderten Kommunikationsstrukturen und dem bestehenden Sicherheitsmanagement abgeleitet. Es wird erwartet, dass eine unverzügerte und prägnante Informationswiedergabe die Aufmerksamkeit und das Gefahrenbewusstsein des jeweiligen Akteurs fördert und somit gefährlichen Situationen vorbeugt.

Aus der Komponentenanzahl einer MIRS-OP resultiert zwangsläufig ein überfüllter OP-Saal. Eine **kompakte Zusammenführung** der Komponenten reduziert den Platzbedarf und eröffnet ein flexibles und sicheres Arbeitsumfeld. Risiken durch Verkabelung und ungehbare Laufwege gilt es zu vermeiden.

4.2 Problemstrukturierung



Diese frühen Ziele mussten innerhalb des Entwicklungsprozesses aus medizinischer Sicht bestätigt werden. Aus diesem Grund wurden *Videobeobachtungen* durchgeführt. Es wurden Filmaufnahmen von zwei Nierenteilresektionen, einer Nierenbeckenplastik und einer radikalen Prostatektomie gesichtet. Diese Eingriffe wurden mit dem DaVinci-System am MRI München und an der Klinik und Poliklinik für Urologie des Universitätsklinikums Leipzig durchgeführt. Die Handlungsabläufe der OP-Teams und deren Häufigkeit wurden

dokumentiert und daraus erste Funktionen für eine *relationsorientierte Funktionsmodellierung* abgeleitet. Durch zwei *Feldbeobachtungen* am MRI München wurden diese Funktionen korrigiert, ergänzt und bestätigt, so dass die Schaubilder erstellt werden konnten. Bei diesen Beobachtungen handelte es sich um eine Nierenteilresektion und eine Ureterrekonstruktion. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurden Handlungsempfehlungen abgeleitet und die frühen Ziele durch Entwicklungsfokusse ergänzt, die es zu erfüllen galt.

4.2.1 Relationsorientierte Funktionsmodellierung und kognitiver Durchgang eines beispielhaften DaVinci-Eingriffs

Innerhalb der Modellierung wurde das System „Operationssaal“ untersucht. Die Systemgrenze umfasste die relevanten Akteure, Handlungsabläufe sowie das technische Equipment. Das Schaubild der *relationsorientierten Funktionsmodellierung* befindet sich im Anhang (siehe A.1, S.86). Der folgende *kognitive Durchlauf* erklärt und verdeutlicht die Handlungsschritte innerhalb des Eingriffs.

Preoperative Phase

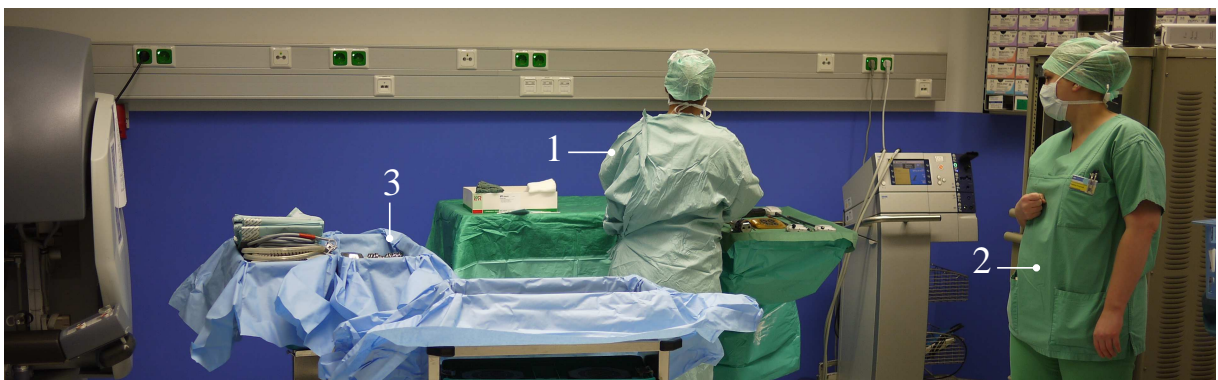


Abbildung 4.3: **1. Schritt** – Aufbau der Instrumentenwagen fern des Sterilfeldes.

- (1): Eingewaschene Schwester bereitet die Instrumentenwagen vor.
- (2): Springer im Beidienst erwartet weitere Aufgaben.
- (3): Die sterilen Tücher werden in den Kisten entfaltet und umgeschlagen.

Der erste Teil der Eingriffe bestand darin, den Patienten und die Komponenten vorzubereiten. Während der Patient in den OP gebracht und von Springern vorbereitet und gelagert wurde, übernahmen die Schwester und ein Springer die Vorbereitung der Instrumentenwagen und der MIRS-Instrumente. Dazu wurden drei Standard-OP-Wagen fern der störenden Vorbereitungen,

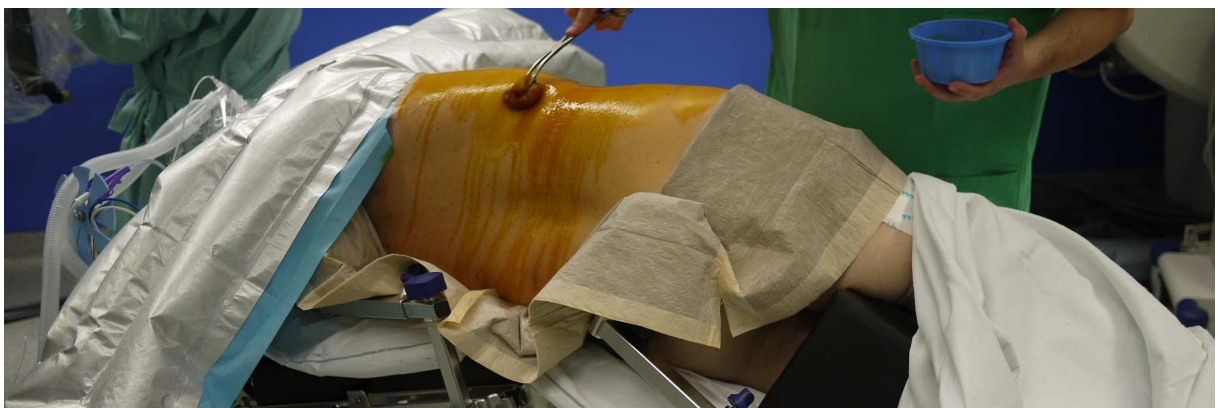


Abbildung 4.4: **2. Schritt** – Patientenvorbereitung und Lagerung, um 110° im LWS-Bereich aufgeklappt.

meist nahe einer Raumwand oder einer Raumecke, positioniert und mit Steriltüchern abgedeckt. Es folgte die sterile Einwaschung der Schwester und die Anlieferung der benötigten Siebe durch den Springer. Während nun die Schwester ihren Arbeitsplatz auf den Instrumentenwagen einrichtete, war der Springer seiner Aufgaben entbunden und konnte an anderen Stellen helfen.

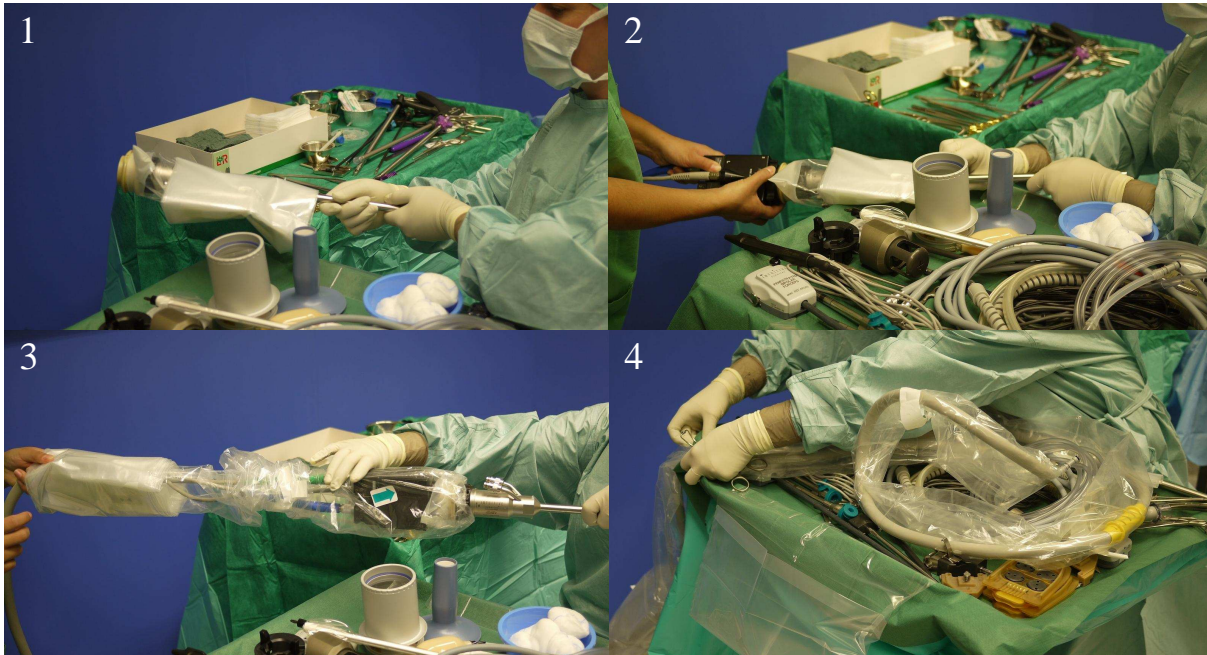


Abbildung 4.5: **3. Schritt** – Drapingvorgang des Endoskops.

- (1): Die Schwester stülpt das Drape über die Endoskopoptik.
- (2): Der Springer montiert die unsterile Bildverarbeitungseinheit des Endoskops.
- (3): Der Springer zieht den unteren Rand des Drapes über die Kabelleitung.
- (4): Die Schwester befestigt das gedrapte Kabel mit Gefäßklemmen am Instrumentenwagen.

Auffällig zeitintensiv und provisorisch verlief das Drapen des Endokops. Drapen bezeichnet in der Fachsprache das Verpacken von technischen Komponenten mit sterilen Folienschläuchen. Mittels Gefäßklemmen wurde ein Plastikbeutel am Steriltuch eines OP-Wagens befestigt. Die Kabelleitung des Endoskops wurde vom Springer straff gezogen woraufhin das sterile Drape von der Schwester übergestreift wurde. Danach wurde die Kabelleitung in den zuvor befestigten Plastikbeutel gelegt und das Endoskop provisorisch auf den anderen Instrumenten gelagert. Durch diese Handlungsabläufe könnten schädliche Funtionen, wie z.B. das Beschädigen der anderen Instrumente oder das Kontaminieren von Material eintreten.

Nach dem Draping des Endoskops musste zusätzlich die Robotereinheit des DaVinci-Systems gedraped werden. Da die Stativarme dieses Robotersystems einen zu großen Umfang aufweisen, war das Draping nicht durch einfaches Überstülpen zu bewerkstelligen. Die sterile Schwester musste auch diese Aufgabe erledigen, da das Risiko, die Drapes während des Vorgangs zu verunreinigen, zu hoch war.



Abbildung 4.6: **4. Schritt** – Drapingvorgang der Roboterstative.

(1): Noch zu drapendes Roboterstativ.

(2): Die OP-Schwester zieht den Drapingschlauch über das Stativ.

Nach der Vorbereitung des Patienten wurden die einzelnen OP-Komponenten an den Tisch gefahren und positioniert. Durch die Verkabelung und die hohe Anzahl an OP-Komponenten resultierte ein enormer Platzbedarf des gesamten Systems, was die Akteure zusätzlich einschränkte. Dafür war nicht zuletzt der verhältnismäßig große Footprint des DaVinci-Systems verantwortlich. Die Auswirkung des Platzmangels zeigte sich z.B. mehrfach darin, dass der Anästhesist während der Patientenversorgung gebeten wurde, das Anästhesiegerät umzupositionieren. Desweiteren wurde die Verkabelung oftmals sehr provisorisch vorgenommen. Eine direkte Folge davon war z.B. der intraoperative Ausfall des HF-Geräts oder die Kontamination der Absaugereinheit.



Abbildung 4.7: **Beispiel einer Fehlfunktion** – Provisorische Verkabelung der OP-Komponenten.

Intraoperative Phase



Abbildung 4.8: **5. Schritt** – Spiegelung des abdominalen Raums mittels zusätzlichem Endoskop vor dem Einsetzen des Optiktrokar.

Zu Beginn der intraoperativen Phase wurde der abdominale Raum unter Zuhilfenahme eines manuell angelegten Pneumoperitoneums und einer Endoskopoptik gespiegelt. Dies diente dazu, die Trokare korrekt zu platzieren und darüber hinaus, diese gefahrlos stechen zu können. Der negative Aspekt dieser Vorgehensweise war, dass dafür ein zusätzliches Endoskop verwendet wurde und nicht die ohnehin benötigte 3D-Optik des DaVinci-Systems. Das gebrauchte Endoskop wurde nach der Entnahme wieder auf den anderen Instrumenten gelagert und vom Springer vorsichtig entfernt. Das Kontaminations- und Beschädigungsrisiko ist bei dieser Handlung als hoch einzustufen. Als nächster Schritt folgte das Setzen der Arbeitstrokare. In diesem OP-Setup wurden neben dem Optiktrokar (Abb.:4.9, 1) zwei Robotertrokare (Abb.:4.9, 2) und ein Arbeitstrokar für den Assistenten (Abb.:4.9, 3) gestochen. Es sei angemerkt, dass die Verwendung von drei und mehr Robotertrokaren durchaus üblich ist [14]. Eine zentrale Fehlfunktion

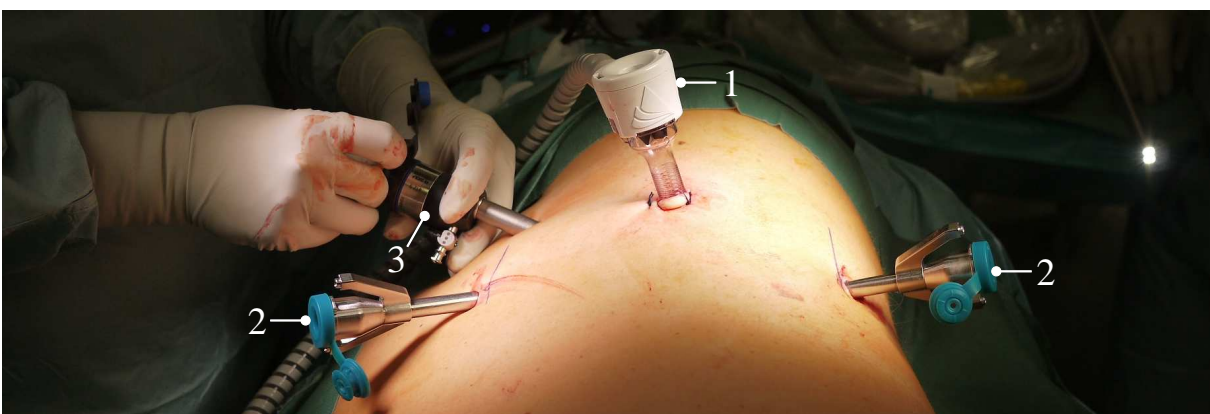


Abbildung 4.9: **6. Schritt** – Einsetzen der restlichen Trokare.
(1): Optiktrokar. (2): Robotertrokare. (3): Assistententrokar

des DaVinci-Systems ist die Notwendigkeit der nachträglichen Integration des Roboterstativs in das OP-Setup. Während der Eingriff am Patienten bereits begonnen hat, musste das schwere

Robotersystem vom Springer an den OP-Tisch manövriert werden. Dieses Vorgehen birgt zum einen ein hohes Beschädigungsrisiko durch Zusammenstöße des Robotersystems mit den restlichen OP-Komponenten und zum anderen ein Kontaminationsrisiko durch Beschädigung der Drapes. Außerdem könnte die optimale Ausrichtung des DaVinci-Systems bei komplizierteren Eingriffen mit erheblichen Anstrengungen und Zeitverlust einhergehen. Es wurde auch hier eine sehr provisorische Verkabelung beobachtet, was zu technischen Komplikationen während des Eingriffs führen könnte (Abb.:4.10, 1). Während der OP interagierten der Assistent und die

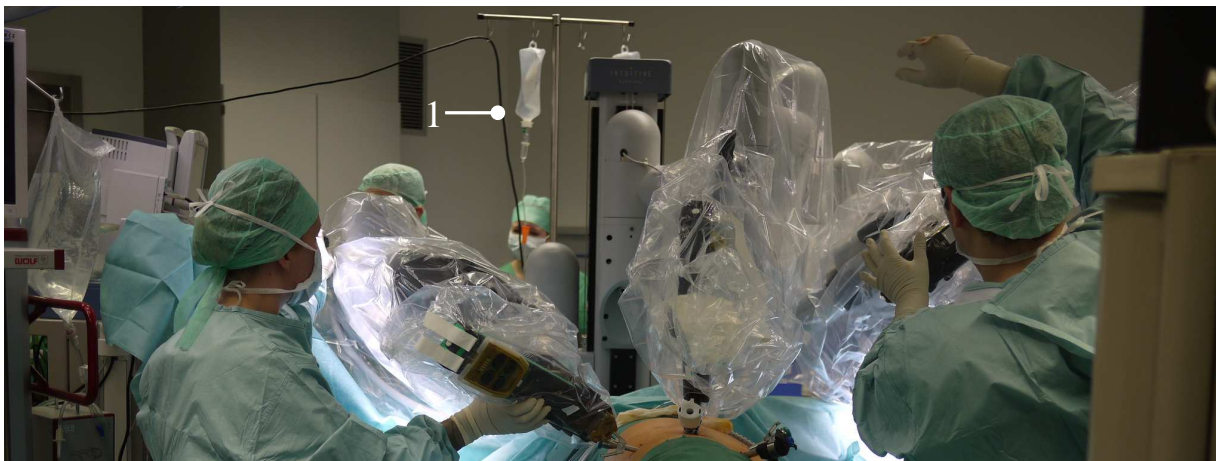


Abbildung 4.10: **7. Schritt** – Nachträgliche Integration des DaVinci-Systems in den OP-Aufbau.
(1): Provisorische Kabelführung am Infusionsständer

Schwester am Patienten. Während es die Aufgabe der Schwester war, Instrumente und Material anzureichen und wieder abzunehmen, operierte der Assistent im Patienten. Der Operateur kommunizierte mit den Akteuren am OP-Tisch einseitig über Lautsprecher und beidseitig über Zurufe. Die Schwester verwaltete meist im Sitzen Material und Instrumente und beobachtete das Endoskopbild. Aufgrund des sehr guten Trainings aus klassischen OPs war es ihr ein Leichtes, die passenden Instrumente bei eingeschränkten Lichtverhältnissen innerhalb der MIRS-OP zu finden. Durch das aufmerksame Beobachten des Endoskopbilds konnte die Schwester relevante Arbeitsschritte erkennen und die passenden Instrumente unaufgefordert zureichen. Es sei angemerkt, dass während einer OP der Instrumentenwagen oft in einen scheinbar unaufgeräumten Zustand fallen kann, was von Außenstehenden als Unordnung und als gefährlich eingestuft werden könnte. Während den *Feldbeobachtungen* hat die Schwester allerdings weder den Überblick verloren, noch resultierte eine bedrohliche Situation für den Patienten aus dieser scheinbaren Unordnung.

Der Assistent agierte über eine Trokaröffnung im Patienten und unterstützte den Operateur. Seine Aufgaben umfassten das Absaugen von Körperflüssigkeiten, das Anreichen von Nadel und Faden sowie die Interaktion mittels verschiedener klassischer Instrumente. Die Aufmerksamkeit des Assistenten galt in vielen Fällen dem Endoskopbild. Dass seine Aufmerksamkeit teilweise



Abbildung 4.11: **Beispiel eines trainierten Handlungsablaufs** – Gleichzeitiges An- und Abreichen von Instrumenten. Die Schwester weiß zu jeder Zeit, welcher Arbeitsschritt als nächstes erfolgen wird.

komplett vom OP-Aufbau abgewandt war, äußerte sich in der Tatsache, dass nur die Schwester manche Blockaden der robotergeführten Instrumente bemerkte. Drüber hinaus untermauerten einige Kollisionen zwischen dem Assistenten und einem Roboterinstrument die Annahme seiner hohen Konzentration auf das Endoskopbild. Ein sehr schwerwiegendes Problem stellte der Mangel an räumlicher Information innerhalb des Endoskopbildes des Assistenten dar. Sehr häufig waren Koordinationsschwierigkeiten zwischen Operateur und Assistent zu erkennen, bspw. bei der Übergabe von Nadel und Faden. Während dieses Problem meist nur Zeitverlust mit sich brachte, konnte im Extremfall beobachtet werden, dass der Faden oder sogar Gewebestücke abgerissen wurden.

Postoperative Phase

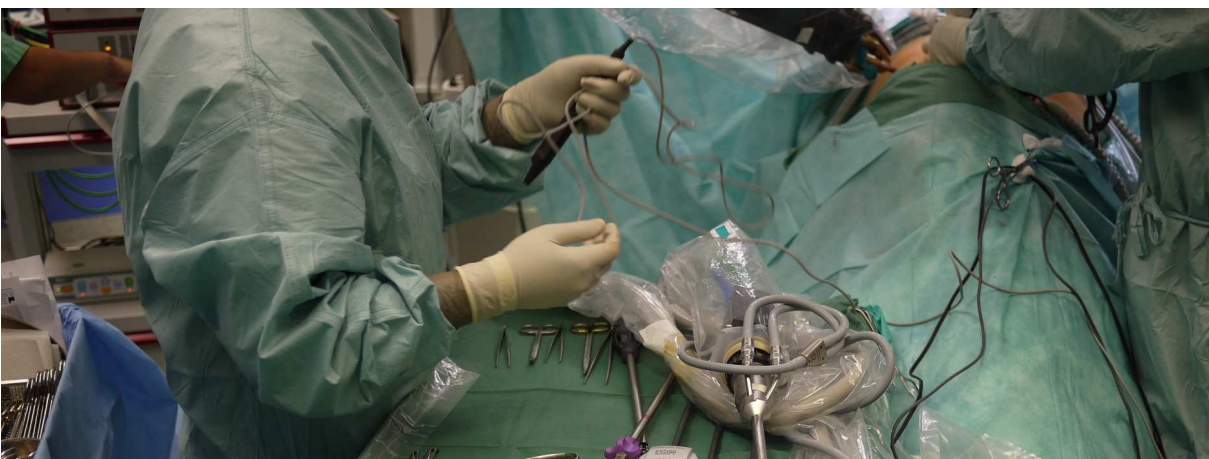


Abbildung 4.12: **8. Schritt** – Lösen der Verkabelung und Lagerung der Optiken.

Die postoperative Phase verlief zügig, um folgende Eingriffe baldmöglichst durchführen zu können. Zunächst wurden alle Instrumente und Optiken auf den Instrumentenwagen zwischen-

gelagert, um alle Verkabelungen lösen und das Robotersystem entfernen zu können. Während des Vernähens des Patienten, wurden bereits die Drapes, zwischenzeitlich auch auf dem Fußboden, verstaut und entsorgt. Durch diese Fehlfunktion wurden Laufwege versperrt und das Stolperrisiko erhöht. Nachdem das DaVinci-System wieder in einer Raumecke verstaut war, wurden die Instrumente und Lagerungshilfen abmontiert und verstaut und der OP-Saal wieder in den Ausgangszustand gebracht.



Abbildung 4.13: **9. Schritt** – Die Roboterdrapes wurden zeitweise auf dem Fußboden zwischengelagert.

4.2.2 Abgeleitete Handlungsempfehlungen

Neben den schädlichen Funktionen, die zu einem Diskomfortempfinden der Assistenten am OP-Tisch führten wurden zwei wesentliche schädliche Folgefunktionen identifiziert, die es zu vermeiden gilt:

- Gesundheit gefährden
- Zeit verlieren

Zu diesem Zwecke wurden eine *Problemformulierung* zu jeder schädlichen Funktion durchgeführt. Die Schädlichen Funktionen wurden der Reihe nach aufgelistet und mit einer Nummer versehen (abgekürzt im Folgenden z.B. durch [SF 1] für schädliche Funktion 1). Mit Hilfe von Tab.:3.1, S.16 wurden für jede schädliche Funktion die charakteristische Konstellation identifiziert, das Problem formuliert, eine Handlungsempfehlung gefunden und begründet. Nachfolgende Tabelle dokumentiert die zu ergreifenden Maßnahmen:

Nr.	Schädliche Funktion	Problembeschreibung	Handlungsempfehlung	Begründung
1	Springer benötigen	Finde einen Möglichkeit (Kabel stramm ziehen) zu vermeiden.	Überarbeiten des Draping-Vorgangs.	Die bestehende Variante des Drapings ist sehr provisorisch. Eine ergonomischere und einfachere Variante, die nur eine ausführende Person benötigt wäre vorteilhaft.
2	Endoskop auf Instrumenten Lagern	Finde eine Möglichkeit (Endoskop lagern) zu vermeiden.	Arbeitsablauf des Drapen und Einsetzten des Endoskop überarbeiten	Befindet sich das Endoskop so lange wie möglich innerhalb der ursprünglichen Lagerposition und wird dann direkt nach dem Draping-Vorgang in den MIRO eingesetzt, so entfällt die Notwendigkeit einer Lagerstelle für das gedrapte Instrument.
3	Material kontaminieren oder beschädigen	finde eine Möglichkeit [SF 2, SF 6] zu vermeiden	siehe [SF 2, SF 6]	Folgefunktion
4	Zeit verlieren	finde eine Möglichkeit [SF 1, SF 3, SF 5, SF 10, SF 14, SF 16] zu vermeiden	siehe [SF 1, SF 3, SF 5, SF 10, SF 14, SF 16]	Folgefunktion
5	sterile Schwester benötigen	Finde eine Möglichkeit [SF 5] zu vermeiden, unter der Bedingung, dass (Roboterarme drapen) erfolgt	-	Diese schädliche Funktion ist der DaVinci Geometrie geschuldet.
6	Roboter nachträglich integrieren	Finde einen Weg, den Widerspruch aufzulösen: (Roboter integrieren) ermöglicht (OP-Komponenten aufbauen), ohne [SF 5] zu verursachen.	Roboter vor erstem Einschnitt ins Sterilfeld integrieren	Wurde zum Zeitpunkt der Roboterintegration der Patient noch nicht inzidiert und die OP-Komponenten noch nicht im Sterilfeld positioniert, so werden [SF 7] sowie [SF 3] vermieden.
7	Gesundheit gefährden	finde eine Möglichkeit [SF 6, SF 13] zu vermeiden	siehe [SF 6, SF 13]	Folgefunktion

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle 4.1 – Fortsetzung

Nr.	Schädliche Funktion	Problembeschreibung	Handlungsempfehlung	Begründung
8	Platz verschwenden	(1): Finde eine alternative Möglichkeit (OP-Komponenten aufbauen), die (Infrastruktur bereitstellen) ermöglicht und nicht [SF 8] verursacht. (2): Finde eine Möglichkeit, [SF 9] zu vermeiden.	(1): Finde eine Möglichkeit, die Komponenten platzsparend und integriert zu positionieren. (2): Einführen der Fkt. (Kabel sichern, integrieren oder reduzieren)	Die Integration von OP-Komponenten ist platzsparend und reduziert die Anzahl der Kabelführungen und deren Länge. Gesicherte Kabelführungen sind unempfindlich gegen äußere Einwirkungen.
9	Kabel ungeschützt lagern	Finde Weg, den Widerspruch aufzulösen: (Infrastruktur verkabeln) ermöglicht (Infrastruktur bereitstellen), ohne [SF 9] zu verursachen.	Einführen der nützl. Fkt. (Kabel sichern, integrieren oder reduzieren).	Da die Verkabelung der Infrastruktur auf bestehende Weise vorgenommen werden muss, damit das Robotersystem funktionsfähig ist, kann die Funktion "Infrastruktur verkabeln" nicht variiert oder entfernt werden. Es bestehen die Möglichkeiten, die Kabel zu sichern, zu integrieren oder zu reduzieren.
10	Arbeitsabläufe behindern	finde eine Möglichkeit [SF 8, SF 9] zu vermeiden	siehe [SF 8, SF 9]	Folgefunktion
11	Aufmerksamkeit vom Robotersystem abwenden	Finde eine Möglichkeit [SF 11] zu vermeiden, unter der Bedingung, dass (Konzentration auf Endoskopbild richten) erfolgt.	Einführen der nützl. Fkt. (Verantwortung aufteilen).	Der Assistent ist innerhalb einer MIRS-OP der verantwortliche Akteur am OP-Tisch. Deswegen kann er seine Konzentration nicht abwenden, ohne Fehler zu verursachen. Es ist erforderlich, die Verantwortungsbereiche der Akteure sinnvoll zu erweitern oder zu beschränken
12	Raumdimensionen falsch einschätzen	Finde eine Möglichkeit [SF 12] zu vermeiden, unter der Bedingung, dass (Endoskopbild beobachten) erfolgt.	Einführen der nützl. Fkt. (räumliche Information integrieren).	Schnell interpretierbare Rauminformationen verhindern eine Fehleinschätzung seitens des Assistenten.

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle 4.1 – Fortsetzung

Nr.	Schädliche Funktion	Problembeschreibung	Handlungsempfehlung	Begründung
13	Faden oder Gewebe verletzen	finde eine Möglichkeit [SF 12] zu vermeiden	siehe [SF 12]	Folgefunktion
14	Unstimmigkeiten auslösen	finde eine Möglichkeit [SF 12] zu vermeiden	siehe [SF 8, SF 12]	Folgefunktion
15	Fehlhaltung einnehmen	Finde eine Möglichkeit [SF 15] zu vermeiden, unter der Bedingung, dass (Endoskopbild beobachten) erfolgt.	Einhalten der ergonomischen Rahmenbedingungen bei der Auslegung der Bildschirmintegration.	Diskomfortempfindungen beeinträchtigen die Leistungsfähigkeit und Konzentration der Akteure. Eine verhältnismäßig einfache ergonomische Auslegung der Informationsanzeigen beeinflusst keine weitere Handlungsempfehlung negativ .
16	provisorische Vorgänge revidieren	(1): Finde eine Möglichkeit [SF 16] zu vermeiden oder zu vermindern, unter der Bedingung, dass (OP-Komponenten entfernen) erfolgt. (2): Finde eine Möglichkeit [SF 16] zu vermeiden oder zu vermindern, unter der Bedingung, dass (Robotersystem entdrapen) erfolgt.	(1): OP-Komponenten zusammenführen. (2): Leicht zu revidierender Drapingvorgang anstreben	Müssen wenig Verkabelungen gelöst und wenig OP-Komponenten einzeln verstaut werden, resultiert eine schnelle und ergonomische Aufräumprozedur. Der Drapingvorgang muss aufgrund der präoperativen Vorbereitung überarbeitet werden. In diesem Zuge kann ein leicht revidierbarer Vorgang entworfen werden, der zusätzlich Zeit spart.

Tabelle 4.1: Tabelle der Ergebnisse der *relationsorientierten Funktionsmodellierung*. Es wurden alle schädlichen Funktionen aufgelistet, das Problem wurde methodisch beschrieben, abstrakte Handlungsempfehlungen wurden abgeleitet und Begründungen wurden angebracht. Davon ausgehend konnten Entwicklungsfokusse für gezielte Handlungen gesetzt werden.

4.2.3 Ergänzung der Ziele durch Entwicklungsfokusse

Ausgehend von den Ergebnissen der *relationsorientierten Funktionsmodellierung* war es möglich, die zuvor definierten Ziele mit Entwicklungsfokussen zu versehen, um eine konkrete und zielgerichtete Lösungssuche zu unterstützen:

Der Arbeitsplatz soll die Flexibilität des MiroSurge-Systems aufgreifen: Der Arbeitsplatz muss parallel zu anderen Vorbereitungsaufgaben, wie z.B. der Patientenlagerung, an einem entfernten Ort unter Sterilbedingungen aufgebaut und danach ins OP-Feld integriert werden können, um den bestehenden Arbeitsablauf der Schwester nicht zu verändern. Diese Vorbereitungsaufgabe sollte, wenn möglich, durch eine einzelne Person durchgeführt werden können.

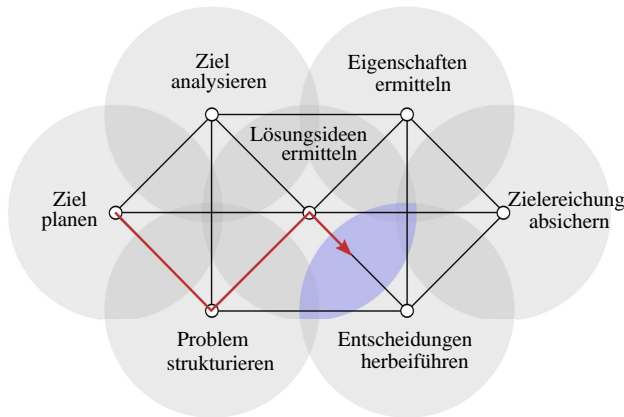
Der Arbeitsplatz soll vielseitig sein und sich an unterschiedliche OP-Szenarien sowie OP-Teams anpassen: Der Arbeitsplatz soll eine Vielseitigkeit vorweisen, die es ihm erlaubt, für alle OP-Szenarien ordnungsgemäß benutzbar zu sein. Zum einen muss für eine Standardpalette der chirurgischen Eingriffe der sinnvollste Standort des Arbeitsplatz ermittelt werden. Innerhalb dieses Standortes muss der Arbeitsplatz uneingeschränkt nutzbar sein. Innerhalb seltener und komplizierter OP-Szenarien muss der Arbeitsplatz an einer unvorhergesehenen Stelle funktionieren und sich noch immer ausreichend gut in den bestehenden Arbeitsablauf des OP-Teams integrieren.

Der Arbeitsplatz soll die benötigten Geräte, Instrumente und Materialien einfach zugänglich machen: Bestehende Notlösungen müssen verbessert werden. Dies betrifft vor allem das Management von Instrumenten mit zu drapenden Kabelleitungen wie MICAs und Endoskop. Beispiele für solche Notlösungen sind die Ablage des gedrapten Endoskops auf den Instrumenten, die Verstauung steriler Kabel in einem Plastikbeutel oder das Befestigen von gedrapten Kabeln an Steriltüchern mittels Gefäßklemmen. Es wird eine zeitsparende und leicht revidierbare Aufbauprozedur angestrebt.

Der Arbeitsplatz soll die für jeden Akteur relevanten Informationen leicht verständlich und gut einsehbar darstellen: Jeder Akteur soll die für ihn relevanten Informationen unverzüglich und prägnant erhalten. Der Einbezug von Rauminformationen für den Assistenzchirurg ist aufgrund von Koordinationsschwierigkeiten notwendig. Es ist darauf zu achten, dass dieses Ziel innerhalb jedes OP-Szenarios ohne das Hervorrufen von Diskomfort erreicht wird. Eine ergonomische und flexible Auslegung der Informations- und Bedienelemente ist daher erforderlich.

Der Arbeitsplatz soll das benötigte OP-Zubehör kompakt zusammenführen: Das Verwenden von unterschiedlichem OP-Zubehör führt zu einem enormen Platzbedarf. Es soll eine Lösung formuliert werden, die alle benötigten Komponenten im Arbeitsplatz vereint.

4.3 Konzeptfindung



Als nächster Schritt folgte die Konzeptfindung. Die fünf gesetzten Entwicklungsfokusse beinhalteten Teilprobleme, für deren Lösung mehrere Varianten denkbar waren. Diese Teilprobleme wurden untersucht und mögliche Teillösungen aufgezeigt. Mit Hilfe von *morphologischen Kästen* wurden die Teillösungen geordnet und anschließend bewertet. Ausgehend von den realistischsten Teillösungen wurden frühe Lösungskonzepte zusammengeführt. Innerhalb des verwendeten Vorgehensmodells befand sich diese Konzeptfindung

in der Schnittmenge von *Lösungsideen ermitteln* und *Entscheidungen herbeiführen*. Alle, im Folgenden getroffenen Behauptungen, stützen sich, soweit nicht anders angegeben, auf die Ergebnisse der Problemstrukturierung.

4.3.1 Ermittlung von Lösungsideen

Der Arbeitsplatz soll die Flexibilität der MIROs aufgreifen

Maßgeblich verantwortlich für einen flexiblen Arbeitsplatz sind die Mobilität, die Möglichkeit zum einfachen Transport sowie die Verfügbarkeit von Arbeitsflächen. Existieren für diese Teilprobleme annehmbare Lösungen, so kann davon ausgegangen werden, dass die OP Schwester in der Lage ist den Arbeitsplatz fern vom OP-Feld, aber dennoch steril, aufzubauen und nachträglich in das OP-Szenario zu integrieren. Die Verwendung einer Schiene lässt nur geführte Bewegungen zu, was die Flexibilität einschränken würde. Gleitflächen verursachen höhere Reibungseffekte als Rollen und beherbergen außerdem ein Verletzungsrisiko durch Ausrutschen. Eine Transportraupe ist gut für hohe Belastungen geeignet, für den Assistentenarbeitsplatz allerdings überdimensioniert [51]. Mobilität durch **Lenkrollen** ist die kostengünstigste, sicherste und flexibelste Teillösung.

Die Arbeitsflächen können grundsätzlich integriert oder **montierbar** sein. Bei einer montierbaren Variante ist die Flexibilität allerdings durch eine frei wählbare Position höher. Ist die Ausführung **steckbar**, so wird eine bessere Reinigbarkeit als bei einer schraubbaren oder gar einer Variante mit Ausklappmechanismus erwartet. Als zulässige Positionen wären **links**, **rechts** und **oben** denkbar. Da vermutet wurde, dass der Arbeitsplatz mit seiner Vorderseite nahe am OP-Feld steht und die Rückseite unsterile Elektronikkomponenten beherbergen könnte, wurden vorne und hinten als Teillösungen verworfen.

Der Transport sollte **manuell** über **Griffe** erfolgen. Ein unterstützter Transport, bspw. mittels

Mobilität	Arbeitsfläche			Transport	
	Ausführung	Montage	Position	Unterstützung	Steuerung
Rollen	integriert	klappbar	links	manuell	Griff
Schienen	montierbar	ausziehbar	rechts	aktiv	Seil
Raupe		aufblasbar	oben		Hubwagen
Gleitfläche		steckbar	vorne		Fernsteuerung
		schraubbar	hinten		Joystick
					Gesten

Tabelle 4.2: *Morphologischer Kasten* zum Entwicklungsfokus: "Der Arbeitsplatz soll die Flexibilität der MIROs aufgreifen". Als Teilprobleme wurden die Mobilität, der Transport sowie die Ausführung von Arbeitsflächen identifiziert.

Fernsteuerung, könnte sehr unintuitiv in der Bedienung sein (vergleiche Laufkatzensteuerung).

Der Arbeitsplatz soll vielseitig sein und sich an unterschiedliche OP-Szenarien und OP-Teams anpassen

Teilprobleme, die während der *Feld- und Videobeobachtungen* identifiziert wurden, waren die Positionierung, die Verwendbarkeit und die Bauform des Arbeitsplatzes. Diese Teilprobleme sind hinsichtlich der Anpassbarkeit an unterschiedliche OP-Szenarien zu verstehen. Die Anpassbarkeit an das OP-Team jedoch, beinhaltet die mühelose Konfiguration des Arbeitsplatzes an die Wünsche des jeweiligen Akteurs. Diese Konfigurationsmöglichkeiten tauchten nicht nur im aktuell beschriebenen Entwicklungsfokus auf, sondern mussten in jede Überlegung mit einfließen. Bei Standardeingriffen befindet sich links und rechts vom OP-Tisch der Arbeitsbereich der Assistenten, am Kopfende befindet sich der Arbeitsplatz des Anästhesisten [6, 14, 18, 40, 42, 71]. Deshalb kann die Positionierung nur am **Fußende** des OP-Tischs erfolgen. Bei selteneren Eingriffen am linken Hemikolon² oder im Bereich des ösophagokardialen Überganges³ wird meist ein Rektumtisch mit Beinschalen verwendet, da der Operateur am besten zwischen den Beinen des Patienten stehen sollte [14]. Innerhalb einer solchen OP muss der Arbeitsplatz links oder rechts vom Fußende versetzt positioniert und dennoch in vollem Funktionsumfang und annehmbarem Bedienkomfort verwendet werden können. Eine Verkipfung des

²linker Abschnitt des Dickdarms.

³Übergang des distalen Ösophagus in den Magen

Positionierung		Verwendbarkeit	Bauform
Integration	Position		
in OP-Tisch	Kopfende des OP-Tischs	MIRS	□
in Architektur	Fußende des OP-Tischs	Laparoskopie	○
alleinstehend	links	klassische OP	L
	rechts		△
	an Deckenampel		
	unter OP-Tisch		

Tabelle 4.3: *Morphologischer Kasten* zum Entwicklungsfokus: "Der Arbeitsplatz soll vielseitig sein und sich an unterschiedliche OP-Szenarien und OP-Teams anpassen". Als Teilprobleme wurden die die Positionierung, Verwendbarkeit und Bauform identifiziert.

OP-Tischs hilft dabei, innere Organe für den Operateur zu exponieren [14, 18, 40]. Möglich sind z.B. Trendelenburg-Lagerungen mit Winkeln von 40° und mehr oder im LWS-Bereich aufgeknicke Seitenlagerungen für die Thorakoskopie [14, 40]. Dadurch ist eine Positionierung des Arbeitsplatzes unter dem OP-Tisch nicht möglich. Eine Positionierung über dem OP-Tisch, z.B. mittels Deckenampel, würde die Sterilbedingungen verletzen. Die Integration des Arbeitsplatzes in die bestehende Architektur wäre nicht mit den zuvor beschriebenen Zielen der Flexibilität vereinbar. Bei einem laparoskopischen Eingriff muss immer die Möglichkeit zur schnellen Konversion gegeben sein [14, 40]. Auch die Patientenvorbereitung erfolgt in einer Art und Weise, dass eine Öffnung des Körpers bei Komplikationen ohne weitere vorbereitende Maßnahmen erfolgen kann [80]. Eine Verwendbarkeit während des **MIRS-Eingriffs** und, im Falle einer Konversion, bei der **Laparoskopie** und einer **klassischen OP** sind der Vielseitigkeit des Arbeitsplatzes zuträglich. Nicht zuletzt vor dem Hintergrund der Anschaffungskosten eines neuen Systems ist diese breite Verwendbarkeit wünschenswert [10].

Aus den *Feldbeobachtungen* ging hervor, dass die Bauform mit dem geringsten Platzbedarf gewählt werden sollte. Eine L-Form ruft ein Stolperrisiko hervor, was den Benefit des gewonnen Stauraums wieder abschwächt. Eine Bauform mit runder oder dreieckiger Standfläche eignet sich schlecht zur Integration von OP-Komponenten, die in den meisten Fällen eine **rechteckige** oder **quadratische** Bauform aufweisen. Die Breite des Systems sollte ungefähr dem Maß der kurzen Seite des OP-Tischs entsprechen, damit das OP-Personal nicht in seinen Laufwegen

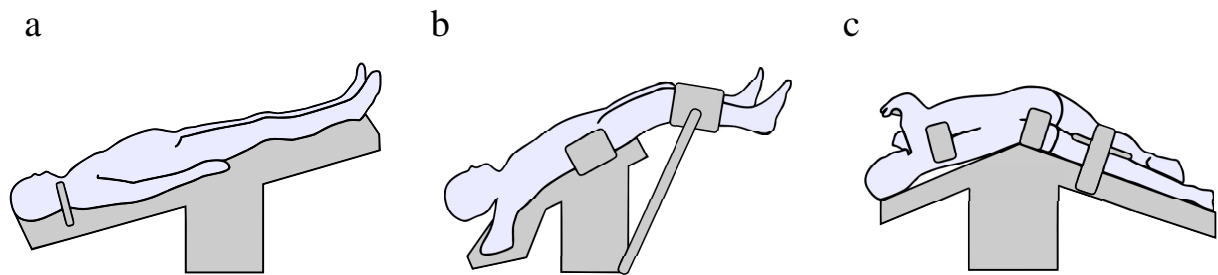


Abbildung 4.14: Innerhalb einer minimalinvasiven Operation können je nach Diagnose sehr unterschiedliche Lagerungen zur Exposition der relevanten Organe verwendet werden. (a) Trendelenburg-Lagerung, seitlich um 20° verkippt, für Eingriffe im Unterbauchbereich. (b) Trendelenburg-Lagerung auf dem Rektumtisch mit Beinschalen für Eingriffe im kleinen Becken. (c) Seitliche Lagerung mit Aufknickung des LWS-Bereichs um 110° zur Thorakoskopie.

behindert wird.

Der Arbeitsplatz soll die benötigten Geräte, Instrumente und Materialien einfach zugänglich machen:

Als eine weitere Problematik wurde die Lagerung und das Management der robotergeführten und endoskopischen Instrumente identifiziert. Dieses Management umfasst das Draping, sowie die Lagerung der sterilen und unsterilen Kabel. Es sollen Lösungen bereitgestellt werden, die einen einfachen und sicheren Umgang mit den Instrumenten ermöglichen. Die Instrumentenlagerung sollte durch **Stecken** erfolgen, da so ein sicherer Halt und eine einfache Entnahme ermöglicht wird. Werden die Instrumente hingegen auf eine Arbeitsfläche abgelegt, so besteht durch ihre zylindrische Bauform die Gefahr des Herunterrollens. Beim Klemmen wiederum wird mit einem erhöhten Kraftaufwand und ruckartigen, unkontrollierten Bewegungen bei der Entnahme gerechnet. Das Aufhängen der Instrumente scheidet ebenfalls wegen der Gefahr des Kabelbruchs aus.

OP-Säle sind bei einem MIRS-Eingriff mit Komponenten überfüllt. Aufgrund des Platzmangels wird die Lagerstätte der Instrumente in den Grundriss des Systems **eingelassen**. Dies verhindert, dass beim engen Vorbeigehen eines Akteurs das Risiko einer Beschädigung der Instrumente besteht. Um Kabelschleifen zu vermeiden, sollte die Lagerstätte **vorne** eingelassen sein. Damit die Lagerstätte bei komplizierten Eingriffen nicht im unsterilen Bereich liegt, sollte sie so weit **oben** wie möglich angeordnet werden (siehe Abb.: 4.14 b, S.41).

Der überarbeitete Drapingvorgang sollte laut den Handlungsempfehlungen (Tab.: 4.1, S.36) von der Schwester alleine durchgeführt werden können und steril gedrapte Kabel bis zuletzt vermeiden. Diese Forderungen könnten durch einen Mechanismus erfüllt werden, der **Entnahme und Draping vereint**. Die Drapes könnten sich bei der Entnahme der Instrumente automatisch ent-

Instrumentenlagerung			Draping	Kabellagerung	sterile Kabel- lagerung
Position	Integration	Ausführung			
links	in den Arbeitsplatz eingelassen	stecken	Entnahme und Draping integriert	im Arbeitsplatz	Auf Arbeitsfläche
rechts	an Außenwand des Arbeitsplatzes	legen	Hilfsablage für gedrapte Instrumente	am Arbeitsplatz	in sterilem Beutel
oben		klemmen			frei hängend
unten		hängen			

Tabelle 4.4: *Morphologischer Kasten* zum Entwicklungsfokus: "Der Arbeitsplatz soll die benötigten Geräte, Instrumente und Materialien einfach zugänglich machen". Die identifizierten Teilprobleme befassen sich mit der sinnvollen Lagerung und einem einfachen Drapingvorgang der Instrumente. Außerdem werden innerhalb diesem Entwicklungsfokus Lösungen für das sterile und unsterile Kabelmanagement gesucht.

falten, was nicht zuletzt eine Lagerstätte für gedrapte Instrumente überflüssig machen würde. Um ein solches Drapinkonzept zu realisieren, müssen die unsterilen Kabel **im System** aus- und einziehbar gelagert werden. Bereits sterile Kabel wie die Endoskoplichtleiter müssen nach wie vor an einem sterilen Ort gelagert werden: Frei hängend ist die Gefahr der Kontamination am größten. Die Lagerung auf einer Arbeitsfläche bringt wiederum einen erhöhten Platzbedarf mit sich. Die bereits bestehende Lagerung in einem **sterilen Beutel** ist im Prinzip geeignet. Im Laufe der Entwicklung sollte allerdings eine sinnvolle Platzierung des Aufbewahrungsorts bestimmt werden.

Der Arbeitsplatz soll die für jeden Akteur relevanten Informationen leicht verständlich und gut einsehbar darstellen

Ein Bestreben des MiroSurge-System ist es, dem Operateur an der Konsole eine prägnante und situationsgerechte Informationswiedergabe bereitzustellen [25]. Im normalen Betrieb liegt der Fokus auf dem Endoskopbild, das, je nach Situation, von Hinweisen oder Warnungen teilweise überlagert wird. Ein sinnvolles Informationsmanagement soll auch für die Assistenten im Sterilfeld eingeführt werden. Im Folgenden werden Ergonomie und Inhalt der Informationsausgabe diskutiert, wobei besonderer Augenmerk auf die Varianten und Positionen der Ausgabegeräte gerichtet ist. Die naheliegendste Ausführung ist ein **Monitor**, der **oben** auf dem Arbeitsplatz

Ausführung	Position	Beweglichkeit	Informationsgehalt	Anzahl
Monitor	links	fest	komplett	gemeinsame Einheit
AR-Brille	rechts	abnehmbar	reduziert	separate Einheiten
Tablett	oben		erweitert	
	vorne			
	hinten			

Tabelle 4.5: *Morphologischer Kasten* zum Entwicklungsfokus: "Der Arbeitsplatz soll die für jeden Akteur relevanten Informationen leicht verständlich und gut einsehbar darstellen". Die identifizierten Teilprobleme waren Ergonomie und Position der Ausgabesysteme, die oftmals auf Grund von Sterilitätsbedingungen im Konflikt stehen. Außerdem wurde der Gehalt und die Aufteilung der Information diskutiert.

montiert ist. Dadurch belegt dieser keine Positionen für Arbeitsflächen oder Instrumente und verletzt die Sterilbedingungen nicht. Außerdem wird die Sicht der Akteure nicht durch die Robotergelenke versperrt. Aus ergonomischer Sicht ist diese Position jedoch nicht erstrebenswert. Laut Empfehlungen sollte die Monitorposition ca. 15° unterhalb der Sichtlinie liegen, um Schmerzen im Nackenbereich zu vermeiden [77]. Hier muss ein Kompromiss zwischen Ergonomie, Sterilität und Position der Arbeitsflächen gefunden werden, wobei die Sterilität unbedingt vorrangig zu behandeln ist. Weitere Möglichkeiten wären Monitorpositionen, die **links** oder **rechts** des Arbeitsplatzes, allerdings niemals über einer Sterilen Arbeitsfläche liegen. Diese Varianten müssen innerhalb eines Benutzertests auf Tauglichkeit und Akzeptanz von Seiten des OP-Personals überprüft werden. Ein fest montierter **Schwenkarm** mit **ausreichendem Bewegungsraum** wäre eine Teillösung, mit der die oben aufgeführten Varianten überprüft werden können. In einem Expertengespräch mit Operateuren wurde die AR-Brille⁴ vorgestellt und als eine akzeptable und interessante Alternative empfunden. Aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums dieser Brillen wurde diese Variante allerdings noch nicht näher betrachtet. Ein tragbares Tablet scheidet als Alternative aus, da die Akteure jegliche Elektronikkomponenten scheuen, die einem zusätzlichen Draping unterzogen werden müssten.

Der Informationsgehalt, der dem Assistenten bereit gestellt wird, muss auf jeden Fall die 3D-Information des Bauchraums zur besseren Orientierung umfassen [24]. Die Schwester benötigt ebenfalls ein Endoskopbild, um den OP-Verlauf nachvollziehen und bestimmte Schritte unaufgefordert ausführen zu können (z.B. Nadel und Faden vorbereiten). Eine 3D-Sicht ist für sie allerdings überflüssig, da die Schwester nicht direkt *in situ* arbeitet. Außerdem könnte die Schwester das Tragen einer 3D-Brille als störend empfinden. Im Gegensatz zum Assistenten,

⁴Brille, die eine erweiterte Realität mit dem Sichtfeld des Nutzers überlagert (vgl. Google Glasses)

der das Endoskopbild ständig im Blick haben muss, arbeite die Schwester vorbereitende und überwachende Aufgaben ab. Dies wirft die Frage auf, ob für die Schwester ein **erweiterter** Informationsgehalt, den Status des Robotersystems betreffend, notwendig wäre. Der Assistent könnte sich durch diese Verantwortungsteilung ungestört dem Arbeiten *in situ* widmen. Zunächst wird im Benutzertest eine **gemeinsame Informationseinheit** vorgestellt. Zudem sollte die Option auf zwei separate Ausgabeeinheiten mit den Akteuren diskutiert werden.

Der Arbeitsplatz soll das benötigte OP-Zubehör kompakt zusammenführen

Ein Hauptziel des Arbeitsplatzes ist es, die OP-Komponenten auf einem Platz zu vereinen. Dazu zählen alle unter 4.1.2.2, S.23 aufgezählten Komponenten. Davon ausgenommen sind die Instrumentenwagen und die Chirurgenkonsole, sowie die Geräte der Anästhesie. Innerhalb dieses

geringe Integrationsdichte	mittlere Integrationsdichte	maximale Integrationsdichte
++ geringe Investitionskosten	+ geringe Investitionskosten	-- hohe Investitionskosten
-- hoher Platzbedarf	++ Verringerung des Platzbedarfs auf gemeinsamen Grundriss	++ große Freiräume
++ freie Komponentenwahl	+ Verwendbarkeit der meisten Komponenten	-- strenge Komponentenvorgaben und schwere Konfigurierbarkeit

Tabelle 4.6: Mögliche Integrationsdichten der OP-Komponenten mit Bewertung. Eine geringe Integrationsdichte löst nicht die bestehende Problematik. Eine maximale Integrationsdichte wäre mit zu hohen Kosten und Restriktionen verbunden. Eine mittlere Integrationsdichte löst das bestehende Platzproblem, greift aber gleichzeitig nicht zu tief in die Entscheidungsgewalt des Chirurgen über die verwendeten OP-Komponenten ein

Entwicklungsfokus musste über die Integrationsdichte des Systems entschieden werden. Eine geringe Integrationsdichte ist zwar kostengünstig und flexibel, da bestehende OP-Komponenten verwendet werden können, löst aber nicht das bestehende Platzproblem.

Eine maximale Integrationsdichte legt den Chirurgen zu sehr auf einzelne Komponenten fest. In Interviews wurde festgestellt, dass die Entscheidung über die Nutzung eines Medizingeräts maßgeblich davon abhängt, ob der Chirurg seinen gewohnten OP-Komponenten in Kombination benutzen kann oder nicht. Außerdem wurde erwähnt, dass hohe Investitionskosten abschreckend wirken. Eine komplette Integration wäre nur dann sinnvoll, wenn der Neubau eines OP-Saals nach den Wünschen der leitenden Ärzten unter Verwendung der neusten Technik stattfinden würde. Weiterhin ist eine nachträgliche Konfigurationsänderung nur schwer möglich.

Eine mittlere Integrationsdichte könnte das bestehende Platzproblem lösen und es den Chirurgen erlauben, bestehende Komponenten zu verwenden. Voraussetzung dafür ist, dass die Kom-

ponenten nach der Integration in vollem Funktionsumfang verwendbar sind. Eine Möglichkeit wäre die Verwendung von **Schubfächern** und eines an die Frontseite des Arbeitsplatzes verlagerten Anschlusspanels. Hier liegt die Schwierigkeit darin, eine Integrierbarkeit von Komponenten verschiedener Hersteller anbieten zu können, wofür im Folgenden konkrete Lösungen gefunden und diskutiert werden sollen.

4.3.2 Konzeptbeschreibung

Der Arbeitsplatz vereint in einem Turm alle Komponenten, die für einen MIRS-Eingriff benötigt werden. Es wurde ein quadratischer Grundriss mit der Seitenlänge von ca. 600mm gewählt. Dieses Maß entspricht der Breite des, im Labor verwendeten, OP-Tischs. **Zur Vorderansicht, Abb.: 4.15, 1:** Die Mobilität des Arbeitsplatzes wird mittels arretierbaren Lenkrollen sichergestellt. Im unteren Drittel befinden sich die vier MIRO-Rechner und deren Kabeleinzugmechanismen. Eine Arbeitsfläche mit der Breite von ca. 300mm kann rechts oder links auf Sitzhöhe eingeschoben werden. Der 3D-Monitor wird auf dem Turm mittels Schwenkarm befestigt und kann dadurch in beliebigem Winkel und beliebiger Position ausgerichtet werden. Darunter befinden sich die Steckplätze der MICA-Instrumente und des Endoskops (im Folgenden, der Instrumentensteckplatz). Dieser ist um 45° um die Horizontale gekippt und in den Grundriss des Turms eingelassen (vgl. Abb.: 4.15, 4). Auch hier wird die Kabellagerung mittels Einzugsmechanismus in den Turm integriert. Darunter befindet sich ein Anschlusspanel für die sterilen HF-Kabel, das CO₂-Kabel für das Anlegen des Pneumoperitoneums, den Lichtwellenleiter für die Endoskopoptik und die Anschlüsse für Zu- und Abfluss der Wasserstrahleinheit. Der Instrumentensteckplatz wird mit einer Sterilplatte aus Edelstahl abgedeckt (im Folgenden, die Endplatte). An dieser sind die Instrumentendrapes (vgl. Abb.: 4.15, 5) befestigt. Außerdem ist ein Beutel aus sterilisierbarer Silikonfolie an der unteren Kante der Endplatte angebracht, der zum einen die Vorderseite des Arbeitsplatz und das Anschlusspanel steril abdeckt, und zum anderen die oben aufgezählten, sterilen Kabel beinhaltet. **Zur Rückansicht, Abb.: 4.15, 2:** Auf der Rückseite des Arbeitsplatzes befinden sich Regalfächer, in die die bestehenden OP-Komponenten integriert werden. Dazu zählen Lichtquelle, Gas-Insufflator, HF-Gerät und Wasserstrahl-System. Diese Komponenten werden einmalig mit der Rückseite des Anschlusspanels verbunden. Somit müssen die vom OP-Tisch kommenden Anschlusskabel nicht um den Turm geführt werden, sondern können an dessen Front eingesteckt werden. Netzteile, Recheneinheiten, und Bildprozessoren werden in den Turm integriert. Zwischen den Lenkrollen liegt ein weiteres Anschlusspanel, das Stromanschluss, Datenleitung, CO₂-Versorgung und Druckluftanschluss für die Kühlung der MICAs beinhaltet. Außerdem liegen hier standard PIN-Anschlüsse, die zur experimentellen Kommunikation mit der verwendeten Peripherie dienen. **Zum Drapingkonzept, Abb.: 4.15, 5:** An der sterilen Endplatte werden die Instrumentendrapes befestigt und danach gemeinsam über den Instrumentensteckplatz gestülpt. Somit werden alle vier Instrumente gleichzeitig mit den Drapes überzogen. Die Drapes verfügen am oberen Ende über eine sterile Konektorplatte (nicht Teil dieser Arbeit) die sie zum einen mit den Antriebseinheiten verbindet und auf die zum anderen die sterilen Endeffektoren aufgesetzt werden. Die sterilen Kabel werden am Endeffektor angeschlossen und mit dem Anschlusspanel verbunden. Dannach können die einsatzbereiten Instrumente entnommen werden, wobei sich gleichzeitig die Drapes entrollen und Antriebseinheiten sowie Endoskop und deren Kabelleitungen steril verpacken.

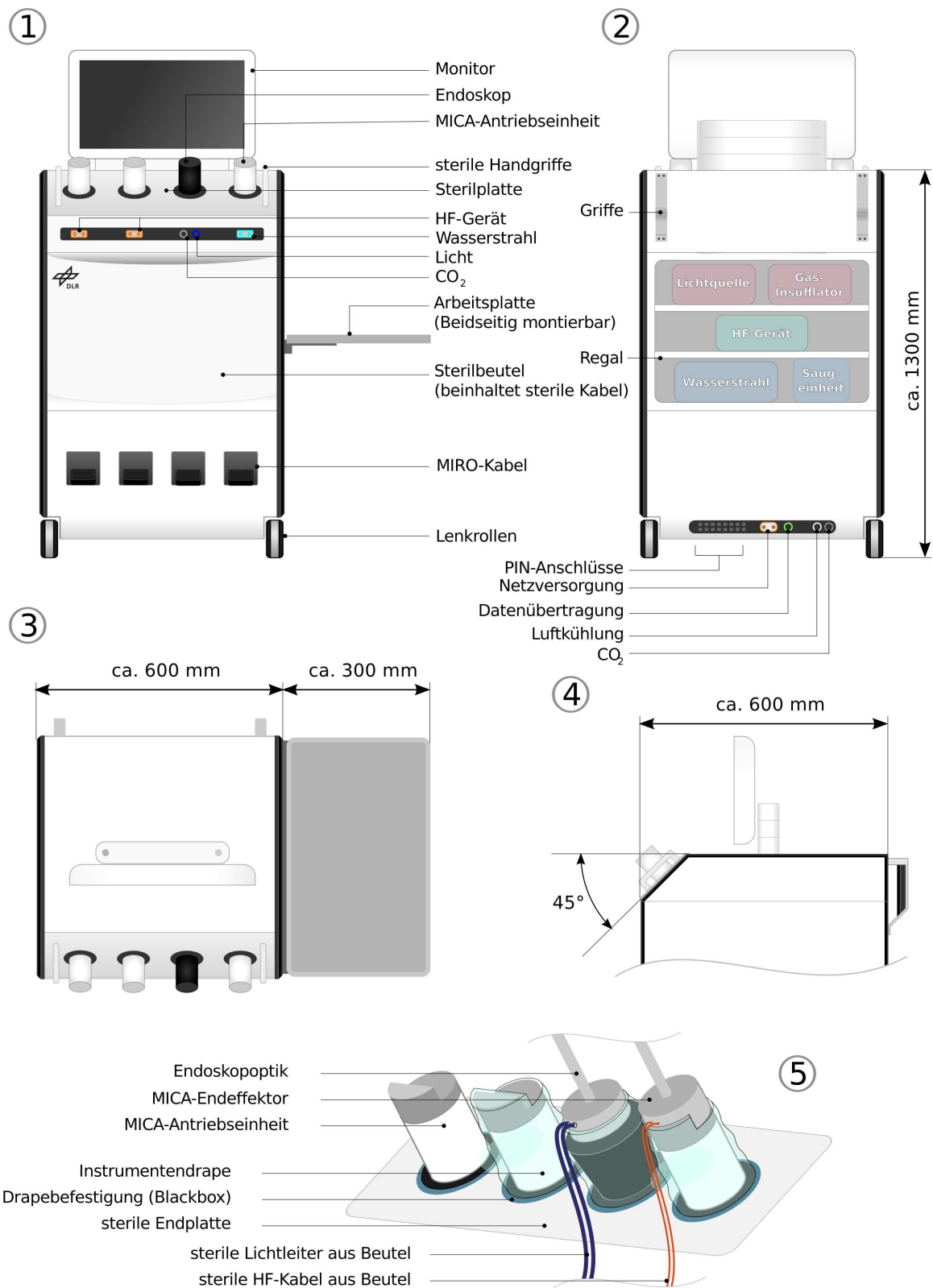


Abbildung 4.15: – Darstellung und Beschreibung des Konzepts.

4.3.3 Darstellung und Analyse des verbesserten Workflows

Der folgende *kognitive Durchgang* erklärt schrittweise die Produktnutzung und unterstützt das Verständnis der *relationsorientierten Funktionsmodellierung* in Anhang (siehe A.1, S.86). Auf diese Weise kann das MirsoSurge-System direkt mit dem DaVinci-System verglichen werden. Außerdem dient die *relationsorientierte Funktionsmodellierung* als Beweis für die Vermeidung aller schädlicher Funktionen, die während der *Feldbeobachtungen* des DaVinci-Systems identifiziert wurden.

1. Schritt: Der Arbeitsplatz befindet sich in einer Raumecke fern des OP-Tisches. Die Schwester positioniert die benötigten Siebe, die sich noch in den Kisten befinden, auf dem Instrumentenwagen.

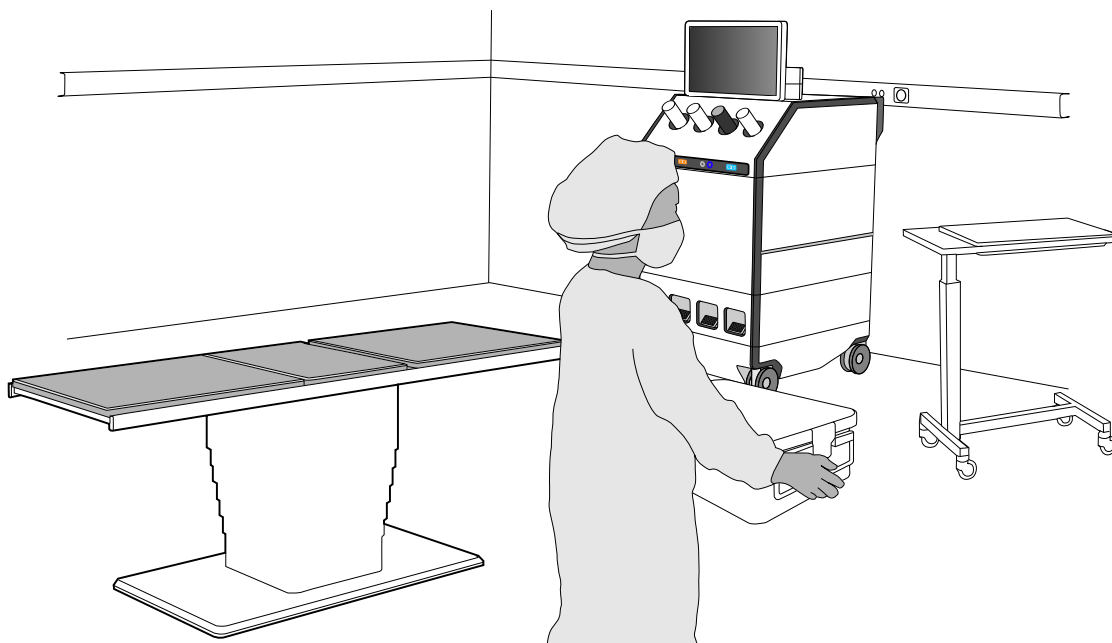


Abbildung 4.16: **1. Schritt** – Anliefern der Siebkisten.

2. Schritt: Der Patient wird in den OP gebracht und von den Springern vorbereitet. Die Schwester wurde bereits steril eingewaschen und hat das Steriltuch aus der Siebkiste so entfaltet, dass der Instrumentenwagen vollständig abgedeckt ist. Sie entnimmt ein weiteres Steriltuch mit Klebestreifen und bringt dieses auf Brusthöhe an der Seitenwand des Arbeitsplatzes an.

3. Schritt: Die MIROs wurden in der Zwischenzeit an den OP-Tisch geliefert. Aufgrund ihrer kompakten Bauform kann davon ausgegangen werden, dass ein unsteriler Springer das Draping der Robotereinheiten übernehmen kann. Trägt dieser sterile Handschuhe, kann er das Drape leicht über den MIRO stülpen, ohne ihn versehentlich zu berühren. Die sterile Schwester kann sich dadurch ungestört der Instrumentenvorbereitung widmen. Sie platziert die MICA-Werkzeuge auf der Arbeitsfläche und bereitet die sterile Endplatte vor.

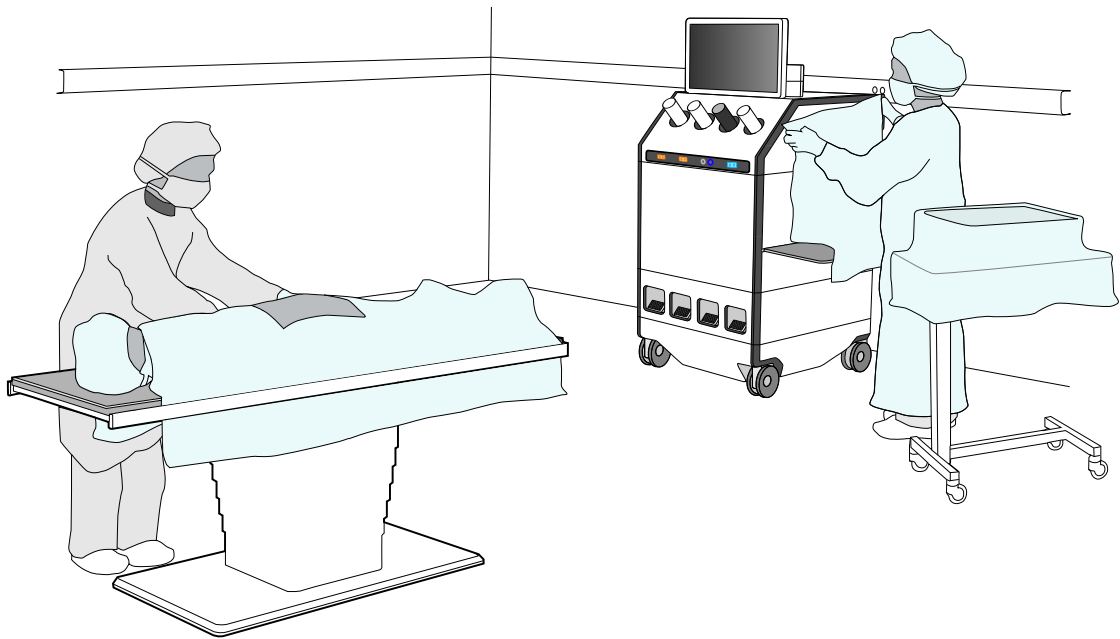


Abbildung 4.17: **2. Schritt** – Instrumenten- und Patientenvorbereitung.

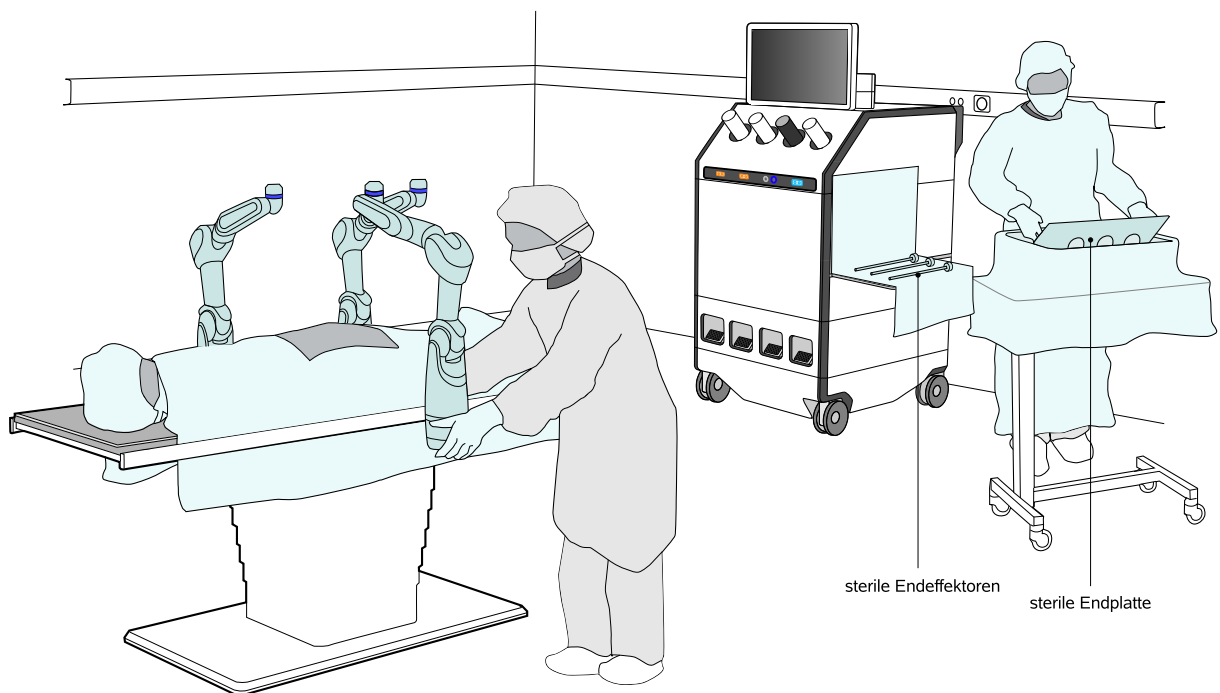


Abbildung 4.18: **3. Schritt** – Instrumenten- und MIRO-Vorbereitung.

4. Schritt: Die Schwester führt im Hintergrund den Drapingvorgang des Arbeitsplatzes aus. Im Gegensatz zum DaVinci-System ergeben sich folgende Vorteile: Die Schwester kann innerhalb kürzester Zeit und ohne Risiko alle vier MIRS-Instrumente gleichzeitig drapen. Sie benötigt dazu keinen Springer, der die Kabel stramm zieht und somit Laufwege versperrt oder Platz verschwendet. Außerdem müssen die gedrapten Kabel nicht provisorisch verstaut werden, da sie sich noch aufgerollt im Inneren des Arbeitsplatzes befinden. In der Zwischenzeit bringt der Springer Kabelhalter an der Reling des OP-Tisches an. Durch diese werden später die Kabel der Robotereinheiten geführt, um sie vom Fußboden fern zu halten.

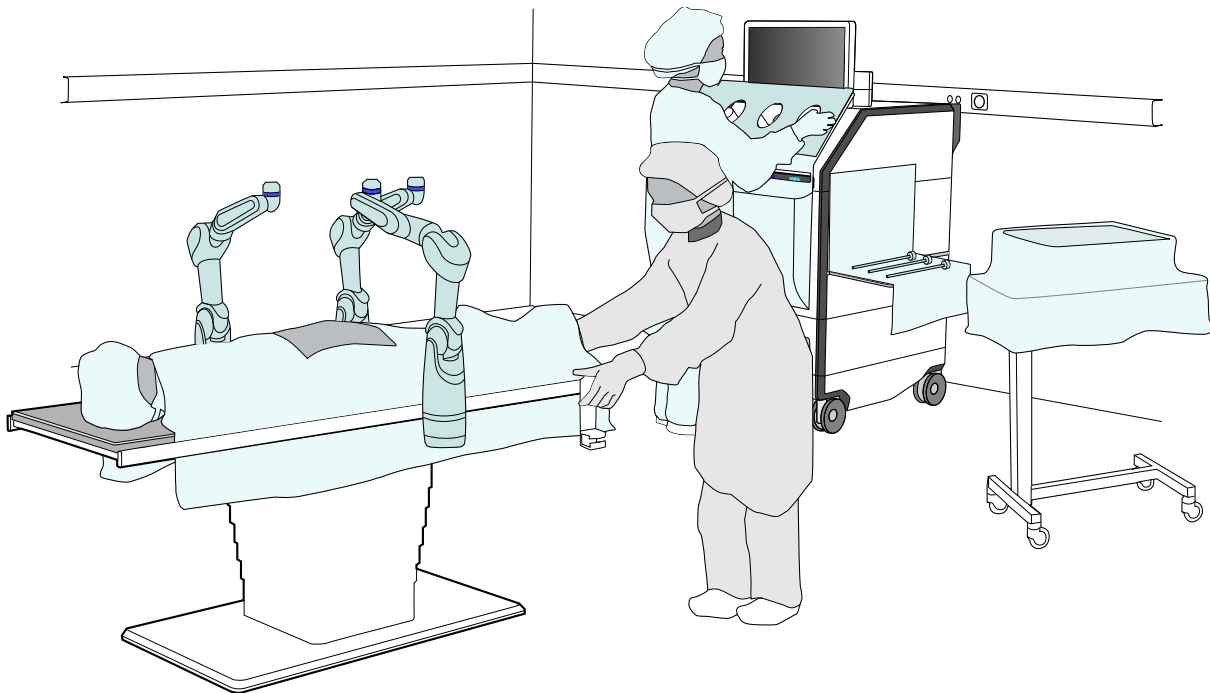


Abbildung 4.19: **4. Schritt** – Anbringen der sterilen Endplatte mit Beutel.

5. Schritt: Der Springer fährt den Arbeitsplatz kurz vor Beginn der OP an die Fußseite des OP-Tisches. Im Gegensatz zum DaVinci-System wurde der Patient noch nicht inzidiert und die Instrumentenwagen befinden sich noch nicht an ihrem Platz. Somit sinkt das Verletzungs- und Beschädigungsrisiko erheblich.

6. Schritt: Der Springer verkabelt nun den Arbeitsplatz. Zuerst bringt er die unsterilen Kabel der MIROs an und führt sie durch die Kabelhalter unter dem OP-Tisch entlang. Danach schließt er den Arbeitsplatz an die Strom-, CO₂- und Druckluftversorgung an. Außerdem muss der Arbeitsplatz mit der Chirurgenkonsole durch einen Datenlink verbunden werden. Somit verschuldet das MiroSurge-System vier Leitungen, die sich auf dem Fußboden befinden. Optional können diese Kabel zu einem gemeinsamen Strang gebündelt werden.

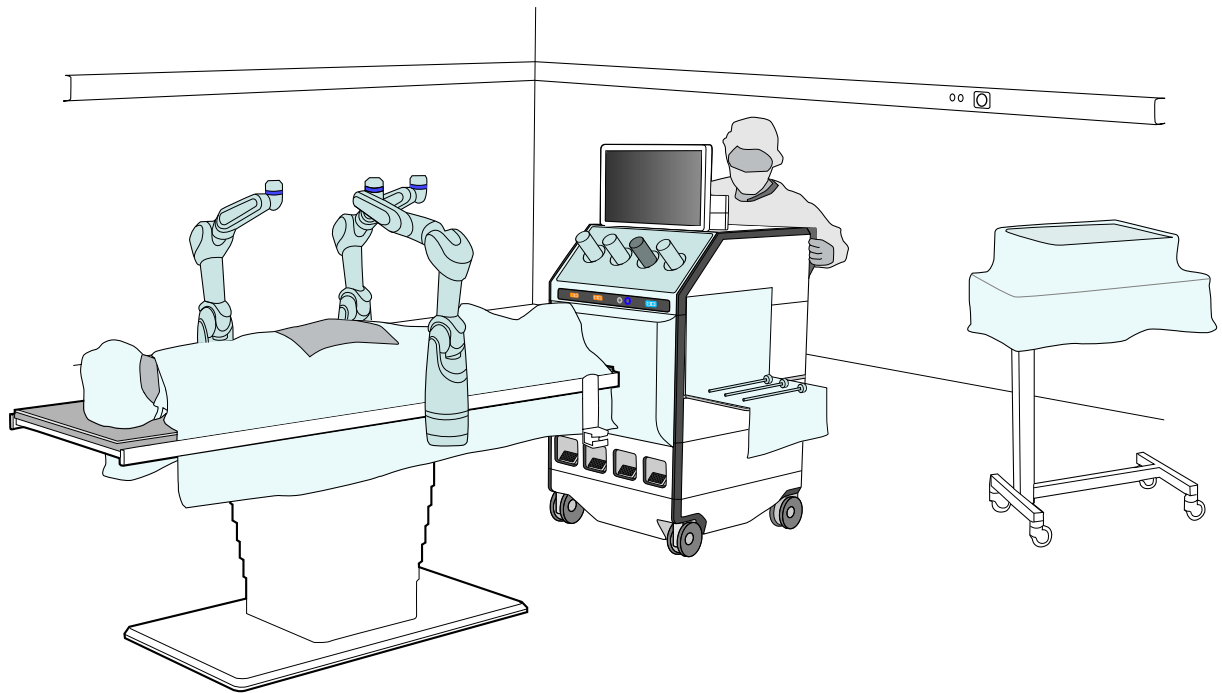


Abbildung 4.20: **5. Schritt** – Integration des Arbeitsplatzes.

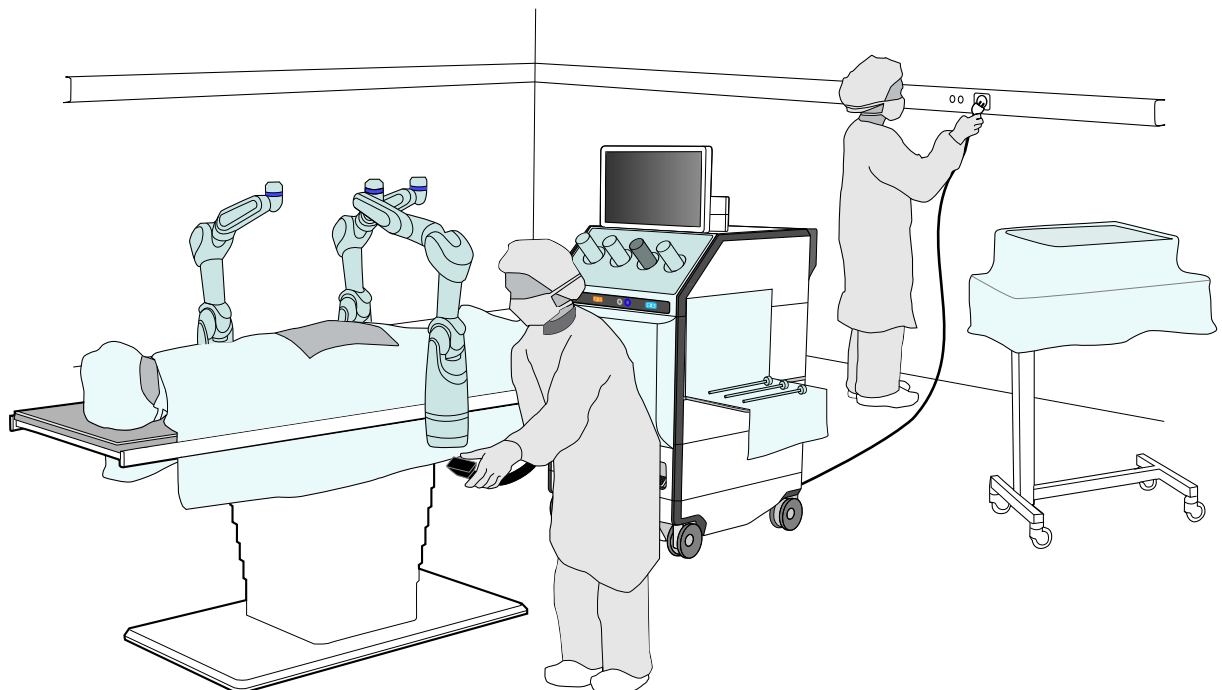


Abbildung 4.21: **6. Schritt** – Verkabelung des Arbeitsplatzes und der MIROs.

7. Schritt: Die Schwester bestückt die MICA-Antriebseinheiten mit den Endeffektoren und das Endoskop mit der Optik. Sind die Instrumente einsatzbereit, so entnimmt sie diese aus ihrem Steckplatz und führt sie in den Schaft des zugehörigen MIROs ein. Beim Entnehmen der Instrumente entrollt sich das Drape automatisch und umschließt die unsterilen Kabel.

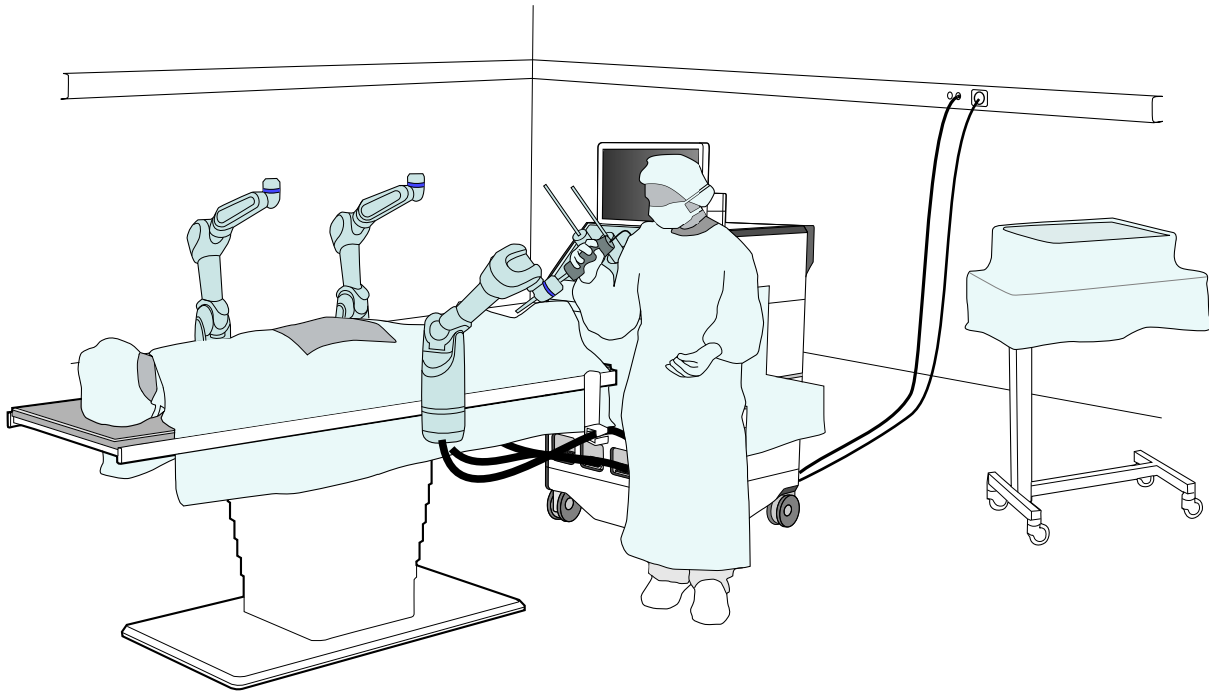


Abbildung 4.22: **7. Schritt** – Entnehmen und Einführen der Instrumente, die hierbei gleichzeitig gedrapet werden.

8. Schritt: Nun entnimmt die Schwester die sterilen Kabel, die in der Zentralsterilisation des Krankenhauses in den sterilen Beutel unter der Endplatte gepackt wurden und verkabelt damit die Instrumente mit dem Anschlusspanel. Dies geschieht mit CO₂-Anschluss, dem Lichtwellenleiter für das Endoskop, den HF-Kabeln und den Leitungen für den Wasserstrahlschneider. Der Springer startet die Komponenten auf der Rückseite des Arbeitsplatzes. Das OP-Setup ist nun einsatzbereit.

9. Schritt: Operateur und Assistent können nun eingewaschen an den OP-Tisch herantreten und die Trokare stechen. Dazu führt der Assistent den mit dem Endoskop bestückten MIRO im Hands-On-Modus⁵ in den Optik-Trokar ein und spiegelt den Bauchraum für den Operateur. Hier zeigt sich wiederum ein wesentlicher Vorteilsgewinn durch den optimierten Arbeitsplatz. Das Endoskop muss nach dem Stechen der Trokare nicht mehr abgelegt und ausgetauscht werden, sondern verbleibt im MIRO. Der Operateur legt die sterile Bekleidung ab und begibt sich zur Konsole. Er übernimmt die telepräsenste Führung der MIROs und beginnt mit dem Eingriff.

⁵Reglermodus in dem der MIRO lediglich die Schwerkraftkomponente kompensiert. Dadurch ist der Roboter leicht manuell verschiebbar

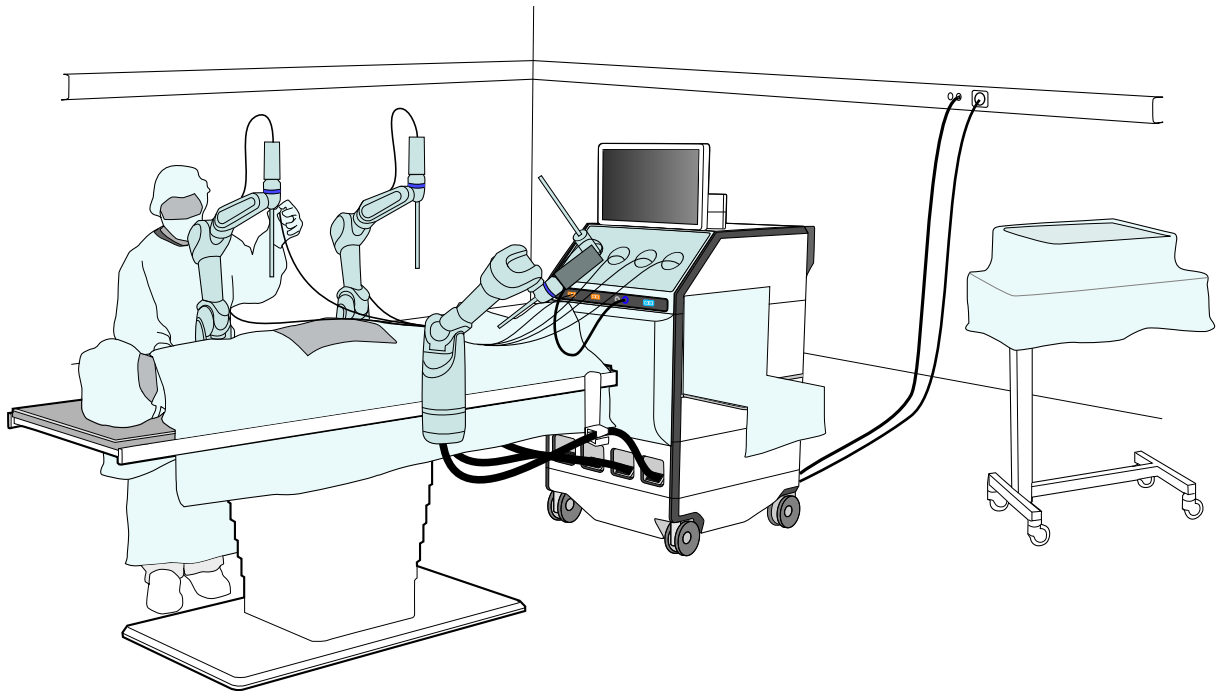


Abbildung 4.23: **8. Schritt** – Verkabeln der Instrumente mit den sterilen Kabeln aus dem Beutel (z.B. HF-Gerät)

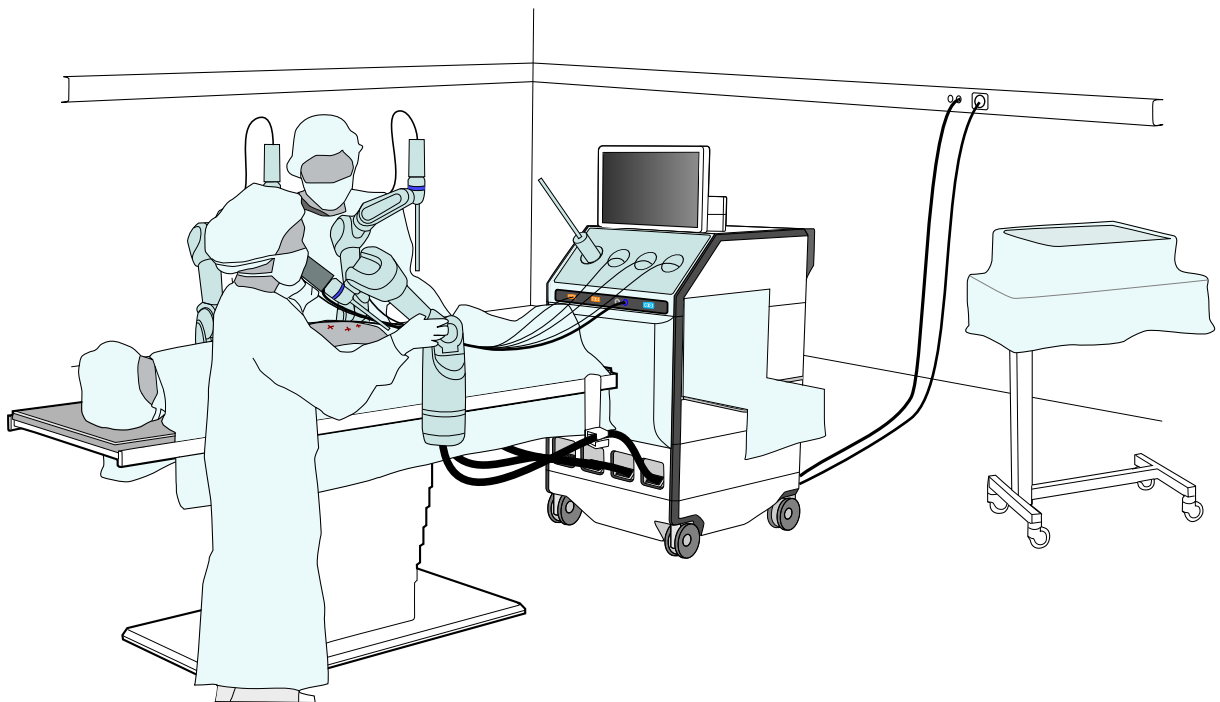
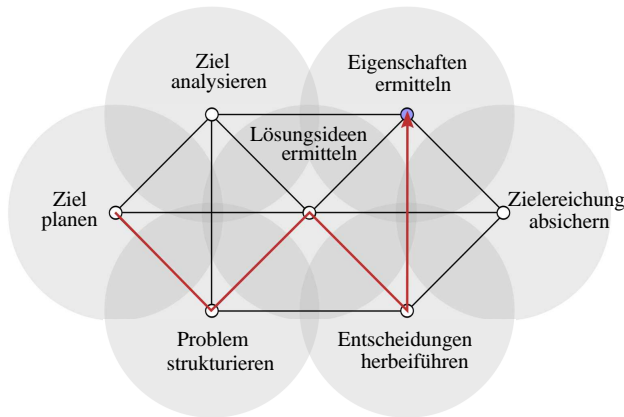


Abbildung 4.24: **9. Schritt** – Stechen der Trokare unter manueller Spiegelung des Operationssitus

4.4 Konzeptvalidierung



Um die Gültigkeit der getroffenen Annahmen und der beschriebenen Beobachtungen zu überprüfen, wurde ein Benutzertest mit den OP-Schwestern Rima Schucht und Inga Maersmann der Uroonkologie, Klinikum Rechts der Isar, durchgeführt. Bei den *Feldbeobachtungen* des DaVinci-Systems übernahm Frau Maersmann die Aufgabe der Schwester und Frau Schucht die des Springers. Es sei erwähnt, dass sich ihre Dienste ständig abwechseln, weshalb beide Akteure Erfahrungen in der Arbeit im Sterilfeld aufweisen. Für diesen

Benutzertest wurde ein Funktionsmodell des Arbeitsplatzes aus Holz und Pappe gefertigt, das die wichtigsten Funktionalitäten für eine Überprüfung bereitstellte. Innerhalb des Vorgehensmodells befindet sich die Konzeptvalidierung im Abschnitt Eigenschaften ermitteln.

4.4.1 Benutzertest

Innerhalb des Benutzertests wurden den beiden OP-Schwestern zunächst die beobachteten Schwierigkeiten aufgeführt und Bestätigung dafür eingeholt. Nachdem das Konzept erläutert wurde, konnten beide eine fiktive präoperative Vorbereitung durchführen und die unter 4.3.3, S.48 erklärten Schritte abarbeiten. Im Folgenden werden zum besseren Verständnis die wichtigsten Schritte anhand von Fotos gezeigt.



Abbildung 4.25: OP-Schwester Maersmann bringt die mit den Drapes bestückte sterile Endplatte an (vgl. 4.Schritt, Abb.: 4.19).



Abbildung 4.26: Frau Schucht und Frau Maersmann verkabeln die MIROs mit dem Arbeitsplatz (vgl. 6. Schritt, Abb.: 4.21). (1): Monitor. (2) Funktionsmodell der Drapes aus einem Folienschlauch. (3) Sterile Endplatte mit Griffen. (4): Steriler Beutel, schlecht erkennbar, da durchsichtig. (5): Abgedeckte Arbeitsfläche. (6) Halterung der MIRO-Kabel. (7) Höhenverstellbarer Kabelauslass.

Zunächst wurde der OP-Tisch mitsamt den MIRO-Einheiten in eine Stellung gebracht, die für einige uroonkologische Eingriffe üblich ist. Wir forderten ausdrücklich eine komplizierte Lagerung, um die Vielseitigkeit des Arbeitsplatzes zu testen. Die Arbeitsfläche wurde an der passenden Seite des Arbeitsplatzes angebracht und abgedeckt. Darauf wurden die Drapes, die Endeffektoren und die sterile Endplatte vorbereitet.

Danach konnte die Endplatte mit den Drapes angebracht werden. Dieser Vorgang wurde als innovativ, zeitsparend, sicher und komfortabel empfunden.

Der Arbeitsplatz wurde an das Fußende des OP-Tisches gefahren und die Kabel der MIROs an den dafür vorgesehenen Kabelhalter angebracht (Abb.: 4.26, 6).

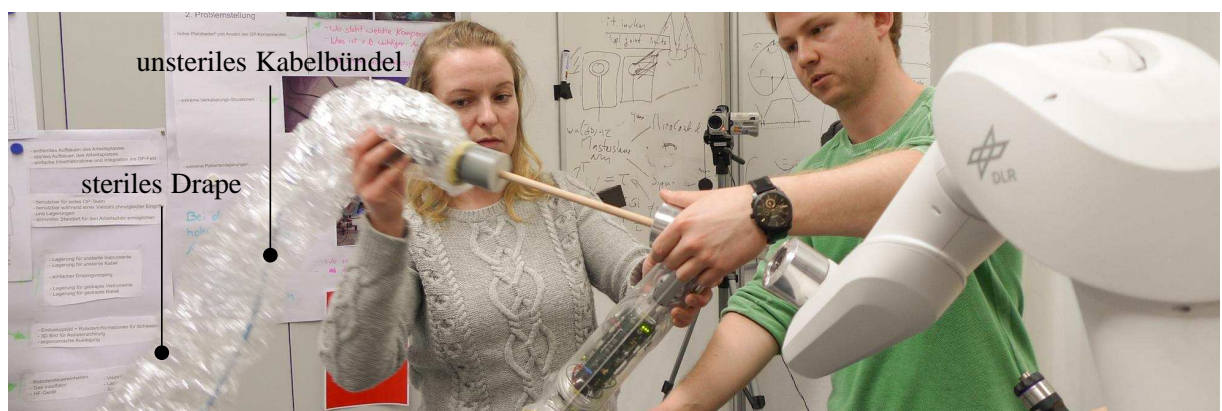


Abbildung 4.27: Frau Maersmann entnimmt die MICA-Einheit mit Endeffektor aus dem Arbeitsplatz und führt diese in den Schaft des MIROs ein. Das Drape umschließt automatisch die Daten- Versorgungsleitungen der MICA (blau).

Nachdem die Endeffektoren und die gedrapten MICAs miteinander verbunden wurden, konnten die einsatzbereiten MICAs nacheinander entnommen werden. Dadurch entrollten sich die Drapes erwartungsgemäß leicht. Im Hands-On-Modus wurden die MICAs in den Schaft des jeweiligen MIROs eingeführt. Ebenfalls im Hands-On-Modus wurde das Endoskop in den Trokar eingeführt, um die Thorax-Attrappe zu spiegeln. Die Arbeitstrokare wurden eingesetzt und die übrigen MICAs eingeführt.



Abbildung 4.28: Frau Maersmann führt den MIRO mit der MICA im Hands-On-Modus in den Trokar ein. Auf gleiche Weise kann das Endoskop eingeführt werden und manuell zur Spiegelung der Bauchhöhle geführt werden.

4.4.2 Ergebnisse des Benutzertests

Nach dem Benutzertest wurde ein offener Fragebogen zur Produktnutzung abgearbeitet, um Fehler im Konzept zu erkennen und Wünsche des OP-Teams in die Entwicklung mit einfließen lassen zu können.

Position der Komponenten: Die Position des Gesamtsystems wurde von den Akteuren als gut empfunden. Der Arbeitsplatz stört am Fußende nicht und kann bei Bedarf auch leicht nach rechts oder links versetzt werden. Im Falle einer Konversion zur offenen Chirurgie versperrt der Tisch keinen benötigten Platz. Die Schwestern würden den Arbeitsplatz an Ort und Stelle stehen lassen und die entnommenen Instrumente und Materialien auf der Arbeitsfläche ablegen. Die nach oben versetzte Position des Instrumentensteckplatzes ist ebenfalls gut, da sie die MICAs und das Endoskop vor unbeabsichtigten Berührungen schützt.

Der Monitor muss schwenkbar sein, um ihn frei positionieren zu können. Das OP-Team hat den Wunsch geäußert, zwei Monitore zur Verfügung gestellt zu bekommen. Diese könnten rechts und links vom Arbeitsplatz positioniert werden. Einer davon sollte 3D-fähig sein und vom Assistenten benutzt werden. Dadurch wäre es möglich, auf den Einsatz des Monitors an der Deckenampel zu verzichten. Ein weiterer Vorteil wäre die Möglichkeit zur Einhaltung der ergonomi-

schen Sichtlinie. Durch den Verzicht der Deckenampel muss der Assistent allerdings seinen Kopf drehen, um das Endoskopbild betrachten zu können. Dies führt, wie bereits beschrieben, zu vermehrten Koordinationsstörungen. Zum anderen tritt einer der rechts und links positionierten Bildschirme in Konflikt mit der sterilen Arbeitsfläche, da er sich ungedrapet knapp darüber befindet. Beide Lösungen sollten in Zukunft näher evaluiert werden.

Das OP-Team findet die montierbare Arbeitsfläche grundsätzlich nützlich, muss aber in weiteren Tests darüber entscheiden, ob diese auch innerhalb des Eingriffs effektiv genutzt werden kann. In Zukunft wird eine beidseitig montierbare Arbeitsfläche angeboten.

Die Position der Kabelhalterungen am Tisch sind akzeptabel. Es wäre auch möglich, diese auf den Fuß des OP-Tischs zu verlegen. Dann würden die Kabelhalterungen nicht in Konflikt mit den, ebenfalls an der Reling befestigten Lagerungskeilen treten. Der Durchmesser der MIRO-Kabel von ca. 30mm wurde als zu groß, aber dennoch als verwendbar empfunden. Kabel ohne Schutzummantelung würden erheblich schlanker ausfallen. Diese müssten dann aber, aus Trittschutzgründen, an der Reling befestigt werden.

Sterilbedingungen: Laut Schwestern erstreckt sich die sterile Zone in der Horizontalen bis ungefähr einen Meter vom OP-Tisch entfernt. In der Vertikalen gilt der Bereich zwischen Hüfte und Schulter als steril. Es wurde bestätigt, dass der Arbeitsplatz mit all seinen Komponenten diese Bedingungen nicht verletzt.

Es sei erwähnt, dass sich diese Aussage auf das Einsatzgebiet der Uroonkologie beschränkt. Da in anderen Einsatzgebieten, wie z.B. in der Orthopädie, strenger Sterilitätsbedingungen herrschen, müssen Experten betroffener Fachrichtungen zu Rate gezogen werden [83].

Arbeitsschritte: Das Drapingkonzept wurde als merkbare Verbesserung empfunden. Um das Drapingkonzept weiter zu verbessern, schlugen die Schwestern vor, die Drapes zuerst auf die Instrumente aufzustecken, und sie danach mit der Endplatte zu fixieren. Neben einem Zeiterparnis kann dadurch auf Montageelemente wie Gewinde oder Bajonette verzichtet werden, was eine gute Sterilisierbarkeit gewährleistet. Die sterilen Griffe der Endplatte sollten versenkbar gestaltet werden, damit die Akteure nicht aus Affekt während der OP daran ziehen und die Endplatte dadurch demontieren.

Raumangebot und Kabelmanagement: Das Raumangebot am OP-Tisch wurde als sehr gut empfunden. Die Schwestern begrüßten die Tatsache, dass sie dem Assistenten gegenüber stehen könnten. Dadurch würden sie weniger von den Armbewegungen des Assistenten gestört werden und hätten allgemein mehr Platz zur Verfügung. Die Anzahl der Kabelleitungen hat sich auf vier Stück reduziert, was das Stolperrisiko merklich reduziert hat.

Verwendbarkeit: Der Arbeitsplatz dürfte am Fußende innerhalb der meisten Eingriffe sehr gut verwendbar sein. Voraussetzung hierfür ist mindestens ein schwenkbarer Monitor. Die Schwe-

stern merkten außerdem an, dass auch weitere Positionen, z.B. links und rechts des OP-Tisches, denkbar wären. Diese Vermutung muss in weiteren Benutzertests verifiziert werden.

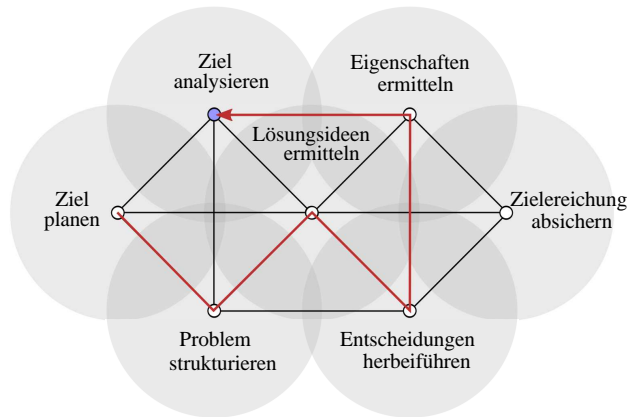
Komponentenintegration: Die Verwendung eines Regals ist möglich. Bisher war es nicht üblich, dass die sterile Schwester oder der Assistent Einstellungen während des Eingriffs an den Geräten vornahmen. Die Kontrolle und Bedienung der Komponenten durch einen Springer erschien als akzeptable Lösung für die nahe Zukunft. Eine bessere Lösung wäre eine integrierte Informationswiedergabe und Bedienung der Komponenten, z.B. von der Chirurgenkonsole aus.

4.4.3 Überprüfung der Eigenschaften

Die oben ermittelten Eigenschaften wurden im Folgenden auf Verträglichkeit mit den zuvor definierten frühen Zielen geprüft.

- ✓ – **Der Arbeitsplatz soll die Flexibilität des MiroSurge-Systems aufgreifen:** Aufgrund der Größe, der Mobilität und der Arbeitsflächen ist es der Schwester möglich, den Arbeitsplatz vorzubereiten und nachträglich in das OP-Setup zu integrieren.
- ✓ – **Der Arbeitsplatz soll vielseitig sein und sich an unterschiedliche OP-Szenarien und OP-Teams anpassen:** Das OP-Team vermutet eine breite Verwendbarkeit des Arbeitsplatzes während vieler Eingriffe mit unterschiedlichen Lagerungen. Die hohe Konfigurierbarkeit ermöglicht es anderen OP-Teams, den Arbeitsplatz nach eigenen Wünschen anzupassen.
- ✓ – **Der Arbeitsplatz soll die benötigten Geräte, Instrumente und Materialien einfach zugänglich machen:** Die Lagerstätten der MICAs und des Endoskops sind einfach zugänglich. Auf der Arbeitsfläche können intraoperativ Material und Instrumente nahe der Schwester gelagert werden. Das überarbeitete Drapingkonzept erlaubt ein einfaches und sicheres Draping. Zudem werden sterile Kabel bis kurz vor Beginn des Eingriffs vermieden und die Handhabung verbessert.
- ✓ – **Der Arbeitsplatz soll die für jeden Akteur relevanten Informationen leicht verständlich und gut einsehbar darstellen:** Zwei verschiedene Varianten werden in Zukunft zum Test angeboten. Die erste Variante ist die Verwendung von einem Monitor am Arbeitsplatz und dem Monitor an der Deckenampel. Die zweite Variante ist die Verwendung zweier Monitore am Arbeitsplatz. Die Tauglichkeit der Varianten muss nochmals überprüft werden.
- ✓ – **Der Arbeitsplatz soll das benötigte OP-Zubehör kompakt zusammenführen:** Die OP-Komponenten werden in einem Regal auf der Rückseite des Arbeitsplatzes integriert. Das OP-Team kann die gewohnten Komponenten verwenden. Teure Neukäufe werden vermieden. Ein Nachteil ist, dass die Komponenten in naher Zukunft nur durch einen Springer überwacht und bedient werden können, da sie sich an der Rückseite befinden.

4.5 Ziel analysieren



Mit dem Benutzertest wurden das Konzept bestätigt und Verbesserungen angebracht. Dieser stellte gleichzeitig das Ende des ersten Iterationsschritt dar. Um einen voll funktionsfähigen Prototypen entwickeln zu können, musste im zweiten Iterationsschritt eine Zielanalyse folgen, an deren Ende das Anfertigen einer ausführlichen Anforderungsliste in einem Lastenheft stand. Diese konnte als Richtlinie für die nachfolgende konstruktive Tätigkeit verwendet werden. Außerdem dient die Anforderungsliste am Ende der Arbeit als Check-

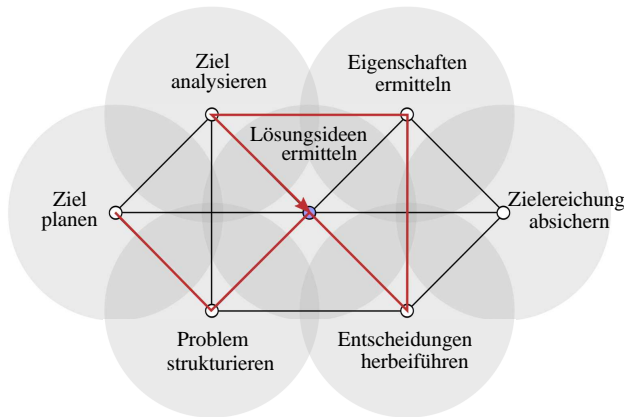
liste für die Überprüfung der Zielerreichung.

4.5.1 Lastenheft

Die Anforderungen wurden aus den Datenblätter der OP-Komponenten, der Recherche, dem Benutzertest und dem Konzept gewonnen. Das Lastenheft wurde in neun Konstruktionsschwerpunkte für die Prototypenentwicklung eingeteilt und befindet sich im Anhang (siehe [B.1](#), S.100). Die Schwerpunkte sind im Einzelnen:

- Grundkonstruktion
- Regaleinheit
- Arbeitsfläche
- Instrumentensteckplatz
- Anschlusspanel für die Versorgungsnetze des OP-Saals
- sterile Endplatte
- Anschlusspanel an der OP-Tisch-Seite
- Informationsmanagement
- unsteriles Kabelmanagement

4.6 Ausführung und Details der Konstruktionsschwerpunkte



Im Folgenden werden die konstruktiven Details der oben beschriebenen Schwerpunkte des ersten Prototyps erklärt. Neben einem 3D-Modell des Arbeitsplatzes wurde eine Stückliste angefertigt, in der der aktuelle Status eines jeden Bauteils hinterlegt ist. Aufgrund des großen Umfangs dieser Arbeit wurde auf die Anfertigung von technischen Zeichnungen vorerst verzichtet.

Der nachfolgende Schritt befand sich innerhalb des Elements Lösungsideen ermitteln und stellte somit die zweite Iteration dar.

4.6.1 Grundkonstruktion, Komponentenplatzierung und Verkleidung

Der Arbeitsplatz wurde aus ITEM-Hohlprofilen der Stärke 8 konstruiert, um Gewicht einzusparen. Er weist einen quadratischen Grundriss mit einer Seitenlänge von 80cm und eine Höhe von 130cm auf. Im unteren Abteil befinden sich die MIRO-Rechner, die die Abmessungen des Grundrisses festlegten.

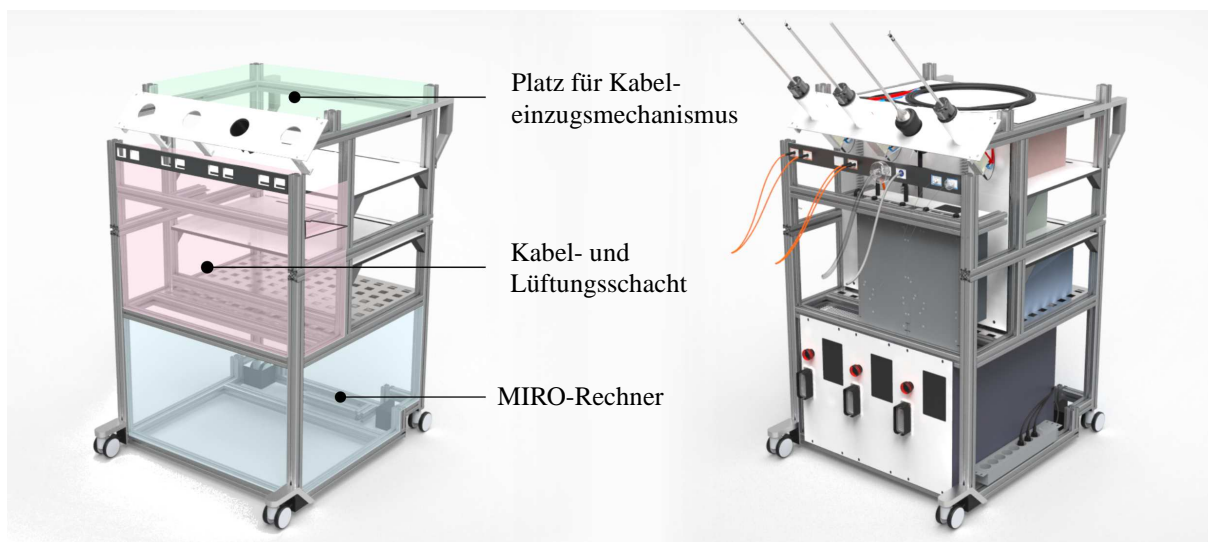


Abbildung 4.29: Links: Grundkonstruktion des Arbeitsplatzes aus ITEM-Hohlprofilen. Im unteren Bereich befinden sich die MIRO-Rechner und die Verteilerebene (blau). Ein Kabel- und Lüftungsschacht gewährleistet eine gute Erreichbarkeit und Lüftung (rot). Über den Regalen für die OP-Komponenten befindet sich Platz für den Kabeleinzugsmechanismus (grün). Rechts: Überblick über die Grundkonstruktion mit den verkabelten Komponenten: (1): Lichtquelle. (2): HF-Gerät. (3): Wasserstrahlgerät. (4): Bildverarbeitung und MICA-Netzteil. (5): MIRO-Rechner.

Die MIRO-Rechner werden in eine Führungsschiene eingeschoben, um eine einfache Austauschbarkeit zu gewährleisten. Im dahinter liegenden Freiraum befindet sich der Netzwerk-Switch, der die Datenleitungen bündelt sowie die Verteilereinheiten für die Versorgungsspannung und CO_2 - und Druckluftversorgung. Darüber befinden sich die Einschubfächer für Wasserstrahlschneider, HF-Gerät, Lichtquelle, und die MICA-Rechner. Die Regalboden füllen nicht den gesamten Grundriss aus, sondern lassen ca. 25cm für einen Schacht frei. Dieser dient als Kabel- und Lüftungsschacht und bietet außerdem Platz für die Bildverarbeitung und das MICA-Netzteil.

Die Verkleidung des Arbeitsplatzes besteht aus HPL-Platten⁶. Diese sind leicht desinfizierbar und erfüllen die Anforderungen der Designabteilung. Die Konstruktion verfügt über zwei Türen an der Vorder- und Rückseite, um interne Komponenten und Verkabelungen besser erreichen zu können.

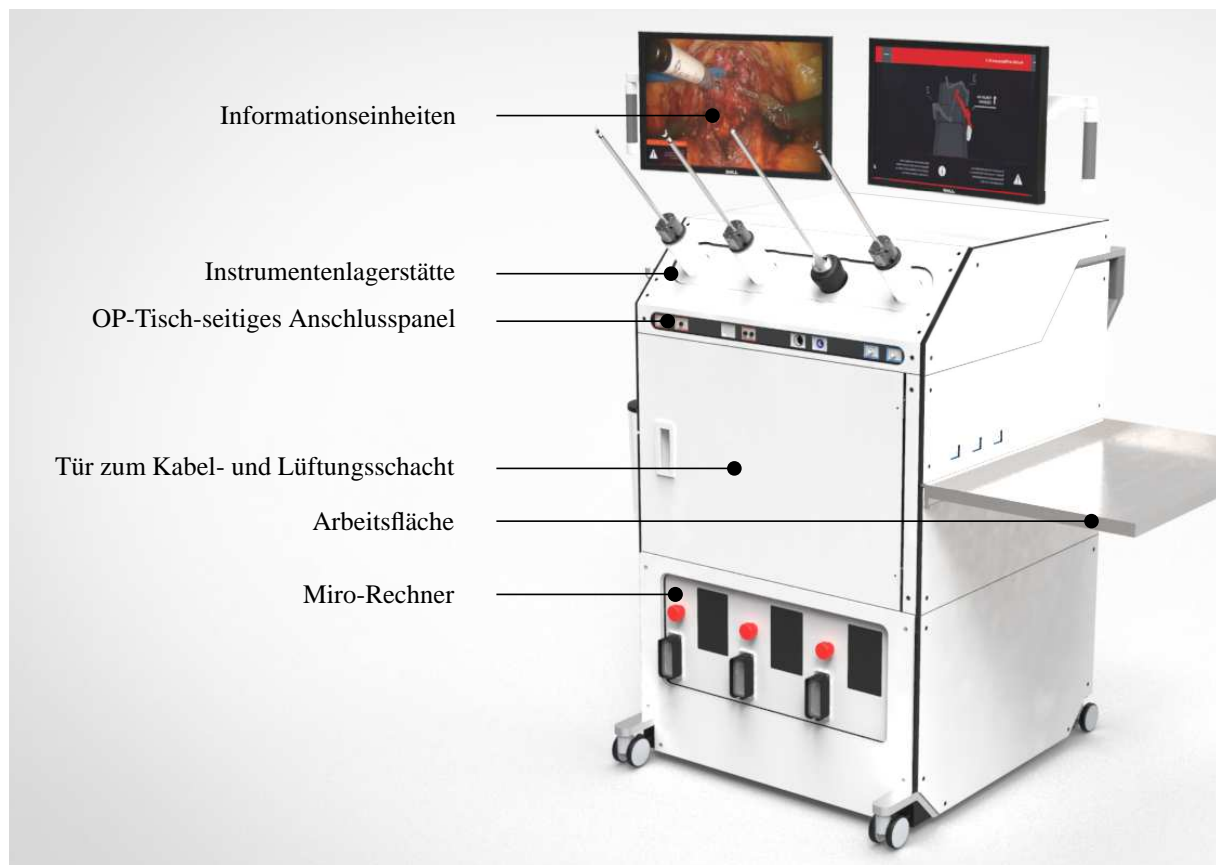


Abbildung 4.30: Frontansicht des Arbeitsplatzes mit den wichtigsten Elementen. Die Verkleidung besteht aus HPL-Platten, die aufgrund ihrer Beschaffenheit einfach zu reinigen und zu desinfizieren sind.

⁶Werkstoff: Hochdruckschichtstoffplatten entsprechend EN 438 oder DIN 16926 mit einer Melaminharzdeckschicht

4.6.2 Regalkonstruktion

Zur Verstaung der OP-Komponenten werden drei Regalfächer zur Verfügung gestellt. Das erste Fach besteht aus einer Edelstahlwanne mit aufliegendem Lochblech, ebenfalls aus Edelstahl gefertigt. Die Fugen der Verbindungsstellen zwischen der Wanne und den ITEM-Profilen wurden mit Teflon-Abdichtband ausgekleidet, um eine vollständige Dichtheit gegenüber Flüssigkeiten zu gewährleisten. Hier wird der Wasserstrahlschneider und die Absaugeinheit positioniert. Die restlichen OP-Komponenten werden von Regalfächern aus HPL-Platten beherbergt, an deren Vorderseite eine Durchgangsnut gefräst wurde. Durch diese Nuten werden die Kabel, die an den Fronten der Komponenten austreten, hindurch und am Regalboden entlang bis zum Kabelschacht geführt. Der Kabelschacht ist durch eine Sichtschutzplatte von den Regalfächern abgegrenzt. Die Regale werden mit ITEM-Konsolenhalter in den Profilen geführt und sind somit höhenverstellbar, was eine leichte Änderbarkeit der Konfiguration ermöglicht.



Abbildung 4.31: Rückansicht des Arbeitsplatzes. Die OP-Komponenten werden in die Regalfächer eingeschoben und befestigt. Danach wird die Verkabelung durchgeführt: Die Kabelleitungen werden durch die Durchgangsnuten und an den Regalböden entlang bis zum Op-Tisch-seitigem Anschlusspanel geführt, mit dem sie dauerhaft verbunden werden. Eine Zierleiste sorgt für ein klares und aufgeräumtes Erscheinungsbild.

4.6.3 Arbeitsfläche

Die Arbeitsfläche besteht ebenfalls aus einer Edelstahlwanne, die in ihrer Kantenhöhe den Maßen eines Instrumentenwagens entspricht. An diese wurde eine Leiste montiert, die wiederum zwei, um 90° zueinander verkippte, ITEM-Nutprofile anbindet. Die Arbeitsfläche wird unter Zuhilfenahme dieser Nutprofile in eine Querstrebe eingeschoben. Diese Querstrebe befindet sich auf einer Höhe von 78cm und wurde jeweils links und rechts des Arbeitsplatzes eingezogen. Diese Höhe wurde innerhalb des Benutzertests als passend für sitzende und stehende Arbeiten empfunden. Verwendet man das Nutprofil senkrecht zur Arbeitsfläche, so hängt die Arbeitsfläche vertikal und nahe der Außenwand. Diese Position dient der Verstauerung nach und vor einem Eingriff. Wird das Nutprofil parallel zur Arbeitsfläche verwendet, so steht diese horizontal von der Seitenwand ab und wird durch das senkrechte Nutprofil gestützt.



Abbildung 4.32: Links: Wird die Arbeitsfläche nicht verwendet, so kann sie eingeklappt nahe der Außenwand aufbewahrt werden. In dieser Position behindert sie keinen der Arbeitsabläufe. Rechts: Arbeitsfläche im ausgeklappten Zustand

4.6.4 Instrumentensteckplatz, Anschlusspanel an der OP-Tisch-Seite und sterile Endplatte

Der Instrumentensteckplatz befindet sich an der im Konzept festgelegten Position. Die MICAs und das Endoskop werden in kreisförmige Ports gesteckt, deren Mantelfläche zum Schutz mit einer dünnen Lage Schaumstoff ausgekleidet ist. An der Rückseite befinden sich Schienen, die die MICAs und gleichzeitig die Signalumsetzungs-Boxen führen. Diese Boxen werden benötigt, um eine Kabellänge der MICAs von mehr als zwei Metern zu ermöglichen. Die Leiterlänge des für die MICA entworfenen Feldbuses darf aus technischen Gründen nicht länger als zwei Meter sein, da der Taktversatz ansonsten zu groß ausfallen würde. Deshalb wird die größte Strecke

von ca. fünf Metern von einem Lichtsignal in einem Duplex-Lichtwellenleiter überbrückt, das in der Signalumsetzungs-Box in ein elektrisches Signal umgewandelt werden muss. Die MICAs werden zusammen mit den Umsetzerboxen aus dem Steckplatz entnommen und gedraped. Da die Form des Endoskops komplizierter ausfällt, wird als Führungen ein Negativabdruck, durch 3D-Druck hergestellt, verwendet.

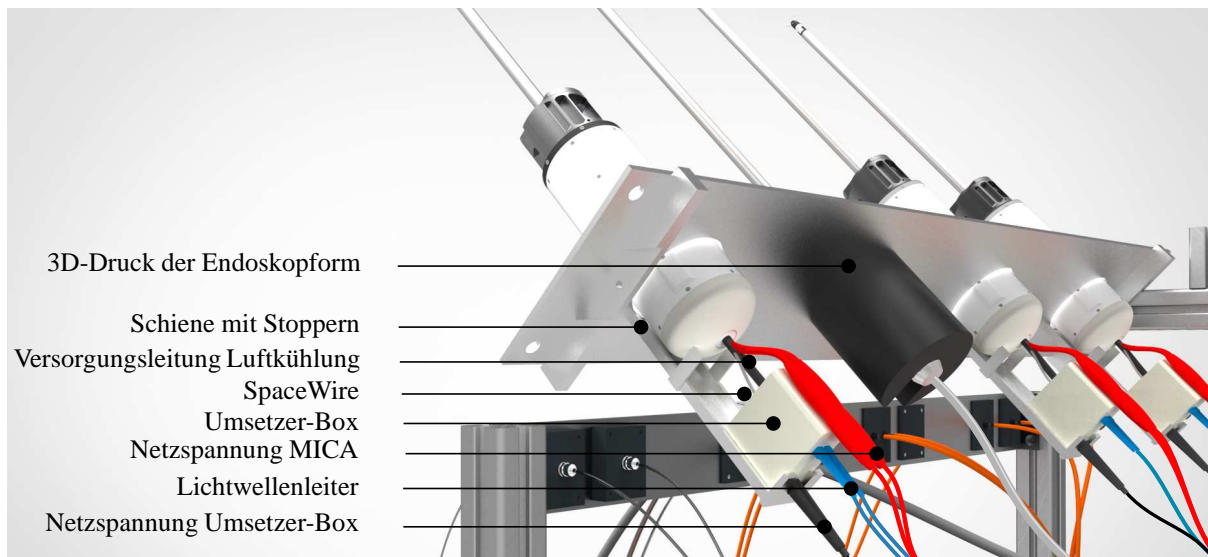


Abbildung 4.33: Einblick in das Innenleben des Instrumentensteckplatzes. MICAs und Endoskop werden in Führungen gelagert. Eine Signalumsetzer-Box wird zur Umwandlung des Lichtsignals in ein elektrisches benötigt. Die zwei Netzkabel, die Lichtwellenleiter und die Luftversorgung werden gebündelt und in das Innere des Arbeitsplatzes geführt. MICAs und Umsetzer-Boxen werden gemeinsam aus dem Steckplatz entnommen und gedraped.

Das Anschlusspanel ist aus pulverbeschichtetem Aluminium gefertigt und kann desinfiziert werden. Pro Instrumentensteckplatz befinden sich zwei rechteckige, frei belegbare Anschlussports am Panel. Die nach DIN-Schema farblich markierten Einsätze werden von hinten angeschraubt und mit den jeweiligen Komponenten verbunden. Durch Gespräche mit den Technikabteilungen der Firmen wurde herausgefunden, dass die meisten Hersteller medizinische- oder Standardanschlüsse verwenden. Die nachfolgende Lösung orientiert sich an den im Labor vorhandenen Komponenten. Der Hersteller des verwendeten HF-Geräts der Firma Erbe bietet z.B. 4mm-Laborbuchsen als eine mögliche Anschlussausführung an. Deshalb sind die Einsätze für die HF-Anbindungen mit passenden Sicherheits-Laborbuchsen ausgestattet. Der Lichtwellenleiter des Endoskops von Richard Wolf ist bereits koppelbar ausgeführt. Die Enden eines Lichtwellenleiters sind auf die eines zweiten einfach aufsteckbar. Der Einsatz wurde deshalb zweiteilig gestaltet, um die Buchse des fest verbauten Lichtwellenleiters einzuklemmen (siehe Abb.:4.34, a, S.65). Laut Herstellerangaben werden an der Koppelstelle 12% der Intensität eingebust. Dieser

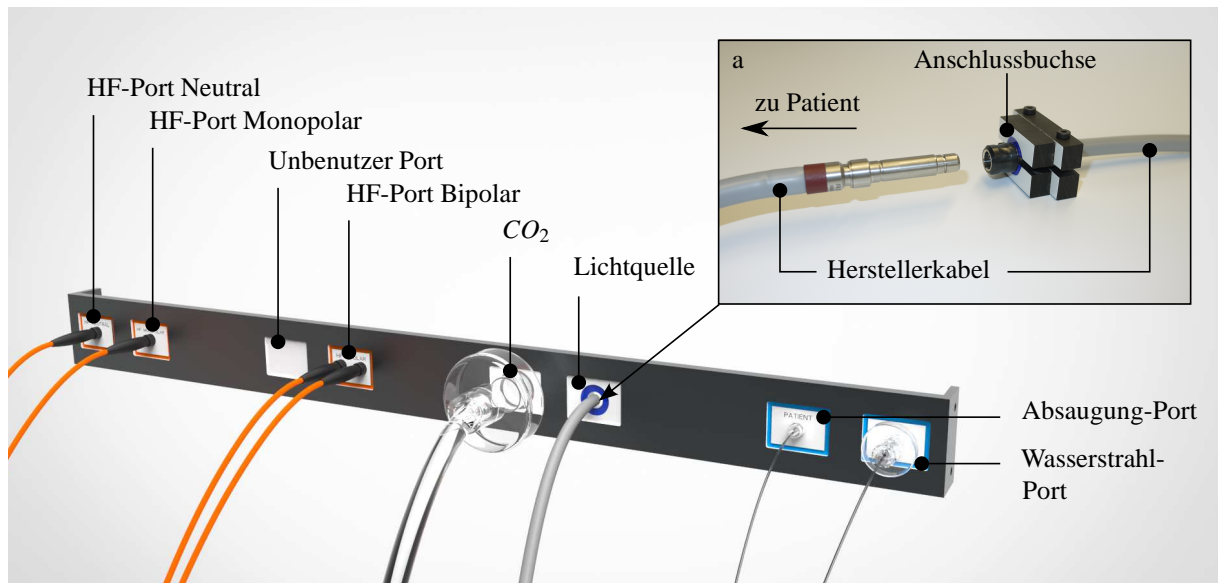


Abbildung 4.34: OP-Tisch-seitiges Anschlusspanel: Die entwickelten Anschlussports decken alle Anschlüsse des HF-Geräts, des Gasinsufflators, der Lichtquelle und des Wasserstrahlschneiders ab. (a): Funktionsmodell des Lichtleiter-Anschlusses. Das Kabelende wird in den zweiteiligen Anschlussport geklemmt. Die Lichtleiter können, ähnlich wie eine Druckluftkupplung, verbunden werden.

Verlust kann durch die Verwendung eines Hochleistungs-Lichtwellenleiters mit verschweisten Fasern ausgeglichen werden. Die transmittierte Leistung ist bei dieser Ausführung um 20% höher. Zum Anlegen des Pneumoperitoneums wird ein Gasinsufflationsset benötigt, das aus einem Beatmungsschlauch und einem Sterilfilter besteht. Gängige Anschlüsse sind z.B. Luer-Lock, 15mm i.D. oder 22mm a.D.⁷. Der Einsatz wurde als 22mm i.D. Buchse gestaltet, an die von der einen Seite der Schlauch vom Gasinsufflator und von der anderen Seite ein Bakterien-/Virenfilter angeschlossen wird (jeweils 22mm a.D.). Weitere Varianten sind ohne hohen Aufwand realisierbar. Die Anbindung des Wasserstrahlschneiders der Firma Erbe gestaltete sich schwieriger, da eine sterile Pumpeinheit, als Einmal-Produkt gestaltet, vor jeder Verwendung aufgesteckt werden muss. Im Prototyp wurde eine Lösung formuliert, bei der die Pumpeinheit unsteril am Wasserstrahlschneider verbleibt und die Leitungen über Luer-Lock-Anschlüsse an das Anschlusspanel gekoppelt werden. Wie bei der Gasinsufflation muss ein Sterilfilter zwischengeschaltet werden. Da diese nur bis Drücke von 8bar ausgelegt sind, kann eine sterile Gewebedissektion im möglichen Tierversuch nur bis zu dieser Grenze erfolgen. In unsterilen Leistungstests ist eine Verwendbarkeit des vollen Druckumfangs bis 80bar möglich.

⁷i.D.: Innendurchmesser. a.D.: Außendurchmesser



Abbildung 4.35: Nahaufnahme des Instrumentensteckplatzes. Die Drapes, an einem Edelstahlstutzen befestigt, werden über die MICAs gestülpt und die Endeffektoren wieder aufgesetzt. Die Edelstahlstutzen werden durch die Zierleiste zentriert.



Abbildung 4.36: Nahaufnahme des steril abgedeckten Instrumentensteckplatzes. Die Stutzen der Drapes werden von der Endplatte gehalten. Diese wird durch Neodym-magnete am Arbeitsplatz befestigt. Der sterile Beutel deckt das Anschlusspanel ab. In diesem befinden sich gleichzeitig die sterilen Kabel, die zum Patienten am OP-Tisch geführt werden.

Die Drapes werden einfach aufgesteckt und durch die Zierleiste der HPL-Verkleidung zentriert. Die sterile Endplatte wird aufgesetzt und von vier Neodym-Magneten gehalten. Diese weisen zusammen eine Haltekraft von $94N$ auf, was ca. $10kg$ entspricht. Dafür muss die Endplatte aus magnetischem Edelstahl gefertigt werden. Als Griffe werden Drahtbügel verwendet, die lose in der Endplatte gelagert sind und durch Bohrungen in der Verkleidung versenkt werden können. Der sterile Beutel wird aus einer Silikonfolie der Firma High-Techflon gefertigt und mittels des Epoxidharzklebers Structalit® an die Endplatte angeklebt. Beide Materialien besitzen eine Temperaturbeständigkeit von über $180^{\circ}C$ und eine geringe Wasseraufnahme, weshalb der Verbund autoklaviert werden kann [83]. An der Stelle des Anschlussports sind Aussparungen im sterilen Beutel vorgesehen. Diese werden in der zentralen Sterilisationsabteilung der Klinik an der Rückseite mit sterilisierbarem, durchsichtigem Klebeband überklebt. Soll ein Anschlussport während der OP verwendet werden, so kann dieses Klebeband einfach mit dem Anschlusskabel durchstoichen werden. Alle benötigten Anschlusskabel wurden während des Sterilisationsprozesses in den Beutel gepackt und können direkt von der Schwester entnommen werden.

4.6.5 Informationsmanagement

Auf dem Arbeitsplatz wird eine Monitorhalterung der Firma X-ERGO montiert. Diese verfügt über zwei Schwenkarmeinheiten, die den kompletten Bewegungsraum im Radius von $500mm$ abdecken. Aufgrund von Lieferschwierigkeiten und dem Fehlen von CAD-Daten wurde diese Halterung noch nicht in die Baugruppe integriert. Zwischen den Monitoren und der Halterung wird eine Griffanbindung montiert, an die zu Beginn der OP ein Sterilgriff angesteckt werden muss. Somit kann jeder Akteur die Position seines Monitors ohne weitere Hilfe ändern. Zur Erprobung der Variante mit einem Monitor am Arbeitsplatz und einem an der Deckenampel, kann ein Schwenkarm ohne Aufwand abmontiert werden. Die beiden Griffanbindungen werden überlagert montiert, damit der Monitor in diesem Fall von beiden Seiten aus umpositioniert werden kann.

5 Diskussion

5.1 Zielerreichung der Konstruktionsschwerpunkte und weiteres Vorgehen

Anhand des Lastenhefts wird im Folgenden die Erreichung der gesetzten technischen Ziele diskutiert. Jeder Konstruktionsschwerpunkt wird hierbei getrennt betrachtet und anschließend auf Erfüllung bewertet. Das weitere Vorgehen wird ausführlich erläutert, um die Richtung für anschließende Projekte und Entwicklungen aufzuzeigen.

5.1.1 Grundkonstruktion

Diskussion: Die geforderte maximale Höhe des Arbeitsplatzes von 140cm wurde mit ca. 130cm unterschritten. So versperrt der Arbeitsplatz auch nicht für das 5. Perzentile der weiblichen Nutzer (Normwert der Körpergröße: 151cm) die Sicht [17]. Die Breite und Tiefe des Arbeitsplatzes liegt bei jeweils 80cm und überschreitet damit den geforderten Wert um 20cm . Diese Ziel konnte aufgrund der großzügigen Bauart der MIRO-Rechner nicht eingehalten werden. Innerhalb der MIRO-Rechner wurde Platz für eine optionale Wasserkühlung der MIRO-Einheiten vorgesehen. Da erst im Laufe der Arbeit von weiteren Forschungsgruppen festgestellt wurde, dass die MIROs die geplante Wasserkühlung voraussichtlich nicht benötigen werden, konnte dieser Platz noch nicht zur Verfügung gestellt werden.

Das Ziel der Mobilität wurde uneingeschränkt erreicht. Die Lenkrollen des Arbeitsplatzes bieten ausreichend Tragkraft und können arretiert werden. Mittels zwei unsterilen Griffen kann der Arbeitsplatz problemlos vom Springer bewegt werden.

Ein großzügiger Lüftungs- und Kabelschacht gewährleistet die ausreichende Versorgung der Komponenten mit dem Kühlmedium „Umgebungsluft“. Die Erdung verläuft sternförmig über die Standard-Netzkabel der Komponenten hin zu den verwendeten Steckdosenleisten von Item. Momentan existieren drei Notausschalter, je einer pro MIRO-Rechner, was zu Verwirrungen in Notsituationen führen könnte.

Fazit: Die Anforderungen der Grundkonstruktion wurden in den meisten Fällen erfüllt. Ist der endgültige Platzbedarf der MIRO-Rechner geklärt, kann der Footprint des Arbeitsplatzes auf die geforderten $60\text{cm} \times 60\text{cm}$ reduziert werden. Für die grundsätzliche Funktionstüchtigkeit des Arbeitsplatzes ist dieses Kriterium allerdings zweitrangig. Vor einem möglichen Tierversuch muss ein Konzept für das Handeln in Notsituationen erstellt und in einem Workshop verifiziert werden. Zunächst muss die sinnvollste Position und Anzahl der Notausschalter ermittelt werden. Außerdem muss geklärt werden, welcher Akteur bei welcher Art von Notsituation in der Position zu Handeln ist.

5.1.2 Regaleinheit

Diskussion: Die geforderte Anzahl von drei Einschubfächern konnte eingehalten werden. Zwei davon sind höhenverstellbar gestaltet. Das dritte Fach besteht aus der Edelstahlwanne und ist für den Wasserstrahlschneider bestimmt. Eine ausreichende Abdichtung gegenüber Flüssigkeiten wurde somit erzielt.

Fazit: Für die meisten Anwendungen sollte dieses Raumangebot ausreichend sein (siehe 4.1.2.2, S.23). Die Anforderungen wurden uneingeschränkt erreicht.

In Zukunft kann das Raumangebot zusätzlich verbessert werden, indem versucht wird, die MICA- und MIRO-Rechner zu vereinen. Mit der „Chip-on-the-Tip“¹ Technologie ist es möglich auf eine externe Lichtquelle zu verzichten, da die Beleuchtung durch LEDs an der Endoskopspitze realisiert wird. Somit kann weiterer Platz für zusätzliche Komponenten bereitgestellt werden.

5.1.3 Arbeitsfläche

Diskussion: Die Ausführung der Arbeitsfläche ist sicher, schnell zu montieren und vor allem einfach zu reinigen und zu desinfizieren. Alle Anforderungen werden uneingeschränkt erfüllt.

Fazit: Es besteht kein Handlungsbedarf.

5.1.4 Instrumentensteckplatz

Diskussion: Drei MICAs und ein Endoskop können im Instrumentensteckplatz aufbewahrt werden. Für den Moment erscheint diese Anzahl als ausreichend, da bei Eingriffen mit dem DaVinci-System momentan maximal drei Roboterinstrumente und ein Endoskop verwendet werden [71]. Der Internetpräsenz von Intuitive Surgical Inc. ist allerdings zu entnehmen, dass in Zukunft auch Operationen mit zwei Chirurgenkonsolen durchgeführt werden könnten. Somit würden fünf Robotereinheiten von zwei Operateuren telepräsent gesteuert werden.

Fazit: Die Anforderungen wurden erfüllt. Es könnte allerdings interessant sein, für seltene und komplizierte Eingriffe die Möglichkeit zur Verwendung weiterer MIROs und MICAs anzubieten. Während die MIROs in einer sicheren Lagerstätte untergebracht werden müssten, könnten die MICAs in Koffer aufbewahrt werden, die z.B. in einem Regal des Arbeitsplatzes verstaut werden könnten. Es sollten an einer geeigneten Stelle Anschlussbuchsen für die zusätzlichen Einheiten eingeplant werden. Der Drapingvorgang der MICAs müsste dann allerdings nachträglich manuell durch die sterile Schwester und einen Springer durchgeführt werden, indem der Springer die Kabel stramm zieht und die Schwester das Drape überstreift.

¹ugs.: Chip auf der Spitze. Verwendet bspw. bei Endoskopeinheiten mit autoklavierbaren CCD-Sensor und LED-Beleuchtung auf der Spitze.

5.1.5 Anschlusspanel an der OP-Tisch-Seite

Diskussion: Obwohl die meisten Hersteller individuelle Anschlüsse für ihre Komponenten verwenden, bieten sie doch umfassende Lösungen für die Konfigurierbarkeit an. Die Firma Erbe bietet z.B. im Sonderkatalog „Anschlusskabel und Adapter für die HF-Chirurgie“ eine Breite Palette an Adapteranschlüssen an [5]. Die Firma Wolf erlaubt es den Nutzern, den Endoskophersteller selbst zu wählen, indem sie einen Revolveranschluss an ihren Lichtquellen vorsehen. Somit können Endoskope der Firma Richard Wolf, Storz, Olympus und Karl Zeiss verwendet werden.

Lediglich die Anbindung des Wasserstrahlschneiders gestaltete sich als schwierig, da die sterile Pumpeinheit äußerst spezifisch ausfällt. Diese wird an den Wasserstrahlschneider aufgesteckt und mittels einer Lichtschranke vom Gerät erkannt. Das Auslagern dieses Moduls wäre mit erheblichem technischen Aufwand verbunden.

Fazit: Die verwendete mechanische Anbindung der Herstellerkabel an die Anschlussbuchsen stellt für den Laborbetrieb eine einfache, kostengünstige und flexible Variante dar. Im Folgenden muss ein ausführliches Benchmarking zu den Anschlussarten und Verbindungskabeln vieler unterschiedlicher Hersteller betrieben werden. Da die Hersteller allerdings meist bemüht sind, dem Nutzer konfigurierbare Lösungen zu liefern, kann davon ausgegangen werden, dass das Konzept auch in der Praxis Verwendung finden wird. Für die Verwendung des Wasserstrahlschneiders muss ein steriler Flüssigkeitsfilter gefunden werden, der Drücke von $1\text{bar} - 80\text{bar}$ aushalten und eine Durchflussmenge von $55\text{ml}/\text{min}$ liefern kann.

5.1.6 Sterile Endplatte

Diskussion: Die sterile Endplatte erfüllt alle Anforderungen der Funktionalität und Sterilität. Einziger Kritikpunkt sind die geometrischen Abmessungen, die an die Breite des Turms gekoppelt sind. Mit einer Breite von 80cm ist es nicht möglich, die Endplatte in einer herkömmlichen, sterilen Instrumentenkiste zu lagern und transportieren.

Fazit: Entweder muss die Breite des Turms verkleinert oder eine klapp- oder faltbare Variante der Endplatte entwickelt werden. Da davon ausgegangen wird, dass eine Breite von 60cm dennoch größer als die sterile Instrumentenkiste ist, müssen weitere Varianten für die Ausführung der Endplatte gefunden werden. Mögliche Varianten wären eine zweiteilige Platte, oder eine Variante aus robuster sterilisierbarer Folie.

5.1.7 Anschlusspanel für die Versorgungsnetze

Diskussion: Das Anschlusspanel für die Versorgungsnetze stellt alle benötigten Medien zur Verfügung. Die PIN-Klemmen an den Dsub9-Buchsen ermöglichen eine einfache Belegung zur experimentellen Kommunikation. Es existiert noch kein Kabeleinzugsmechanismus für das

Strom- und Datenkabel, was die ergonomische Nutzung geringfügig beeinträchtigt.

Fazit: Ein Kabeleinzugsmechanismus sollte in Zukunft vorgesehen werden, um die Ergonomie zu verbessern (vgl.: 5.1.9, S.71).

5.1.8 Informationsmanagement

Die verwendeten Schwenkarme bieten die Möglichkeit, die zwei zu evaluierenden Konzepte für weitere Workshops bereitzustellen (vgl.: 4.4.3, S.58). Aus technischer Sicht wurden die Anforderungen erfüllt.

Allerdings war zu beobachten, dass beide Varianten Kompromisse, die ergonomische Haltung der Akteure betreffend, fordern (vgl.: 4.4.1, S.54). Die Einhaltung aller ergonomischer Vorgaben innerhalb eines OP-Saals ist aber erfahrungsgemäß schwierig [24, 45].

Fazit: Wie bereits erwähnt, wäre es interessant, die AR-Brille in weiteren Workshops zu testen. Innerhalb einer Besprechung äußerten die Chirurgen überraschenderweise, dass das Bereitstellen einer erweiterten Realität durchaus von Interesse sein könnte, abhängig davon, wie hilfreich die Informationen sind, die eingeblendet werden.

In einer weiteren Forschungsarbeit sollte ein ausführliches Konzept für das Informationsmanagement im Sterilfeld erarbeitet werden.

5.1.9 Unsteriles Kabelmanagement

Diskussion: Innerhalb dieser Arbeit wurde das unsterile Kabelmanagement aufgrund des Umfangs nicht behandelt. Innerhalb des Konzepts wurde lediglich festgelegt, dass eine konstruktive Lösung für einen Kabeleinzugsmechanismus gefunden werden muss. Dafür wurden Vorarbeiten in Form von Recherchen geleistet, die es dem folgenden Konstrukteur erleichtern sollen, eine adäquate Lösung zu finden. Im Moment werden die Kabel der MICAs in einem Fach oberhalb der letzten Regaleinheit nach manuellem Einziehen gelagert. Die Kabel der MIROs müssen weiterhin gesteckt werden.

Fazit: Zunächst muss der kritische Biegeradius der verwendeten Lichtwellenleiter (Klasse: OEM3) im dynamischen Belastungsfall ermittelt werden, um die geometrischen Randbedingungen zu klären. Bei einer statischen Verlegung der Kabel dieser Klasse beträgt der kritische Radius laut Herstellerangaben $r_{krit} = 30mm$. Erfahrungswerte des Instituts gehen allerdings davon aus, dass ein um Faktor zehn größerer Radius bei dynamischer Zugbelastung einzuhalten ist. Im Folgenden sollte ein Prüfstand entwickelt werden, der ein von einer Rolle geführtes Testkabel dynamisch aus- und einzieht und dabei eine realistische Last ausübt. Der Radius dieser Führungsrolle sollte variabel sein, sodass die jeweilige Lebensdauer bis Bruch abhängig vom Radius bestimmt werden kann. Außerdem wäre es interessant, die Signalstärke und Qualität während der Versuche aufzuzeichnen.

Darauf folgend muss ein Konzept für die Kabeleinheiten erarbeitet werden. Folgende Überlegungen sollen dabei eine Hilfestellung sein:

- Werden Kabel dynamisch belastet, besteht immer die Möglichkeit des zufälligen, vorzeitigen Versagens durch Materialfehler. Die Kabeleinheiten sollte deshalb einfach und einzeln austauschbar sein.
- Durch das Einziehen der Kabel könnten Verunreinigungen und Körperflüssigkeiten in den Mechanismus geraten. Präventive Maßnahmen und eine einfache Reinigbarkeit sind anzustreben.
- Der Rückholmechanismus sollten durch einen aktiven Antrieb realisiert werden. Passive Elemente, wie z.B. gespannte Federn bergen das Risiko einer unbeabsichtigten Auslösung. Innerhalb eines Eingriffs hätte eine solche Fehlauslösung fatale Folgen für die Gesundheit des Patienten und des Personals.

Denkbar wäre die Gestaltung der Kabeleinheiten als steckbare Kassette mit integriertem Servomotor zum sicheren Ein- und Ausziehen. Durch einen, mit Desinfektionsmittel getränkten Reinigungsschwamm an der Stelle des Kabelauslasses könnte das jeweilige Kabel beim Einziehvorgang automatisch gereinigt werden.

5.2 Verteidigung des gewählten Konzepts am Beispiel eine Produktlebenszykluses

Abgesehen vom Labornutzen des Konzepts muss auch eine Relevanz für die klinische Anwendung gegeben sein, um eine weitere Entwicklung des Assistentenarbeitsplatzes zu rechtfertigen. Im Folgenden wird ein fiktiver Produktlebenszyklus durchlaufen, um die Vorteile des vorgestellten Arbeitsplatzes für die Klinik herauszuarbeiten. Die dafür benötigten Erfahrungen wurden, falls nicht anders gekennzeichnet, selbst aus Expertengesprächen und Beobachtungen gewonnen.

5.2.1 Anschaffung

Der Operationssaal ist eine der wertvollsten, aber auch eine der kostspieligsten Einrichtungen in einer Klinik [72]. Um die Anschaffungskosten des MiroSurge-Systems nicht zusätzlich durch Neuanschaffungen in die Höhe zu treiben, erschien es als wichtiger Punkt, die Verwendbarkeit vorhandener OP-Komponenten anzustreben. Dadurch ist es außerdem möglich, die Entscheidungsgewalt über die verwendeten Komponenten dem Oberarzt und den Operateuren der Abteilung zu überlassen. Da die Verantwortung für die Patienten in ihren Händen liegt, ist es durchaus verständlich, dass die Ärzte mit vertrauten Komponenten arbeiten möchten. Desweiteren bestehen oftmals Verträge zwischen Kliniken und Herstellern, sodass ein schneller Wechsel

eines Komponentenherstellers in diesen Fällen nicht möglich ist. Es wird erwartet, dass das MiroSurge-System durch diese Vorteile der freien Komponentenwahl eine hohe Akzeptanz innerhalb der Klinik erfahren wird.

5.2.2 Inbetriebnahme

Das Konzept kann sehr einfach in Betrieb genommen werden. Die Komponenten werden im Regal plazierte und dauerhaft mit dem OP-Tisch-seitigem Anschlusspanel verkabelt. Dieser Vorgang kann entweder von einem Techniker der vertreibenden Firma, oder, unter Zuhilfenahme einer ausführlichen Bedienungsanleitung, vom OP-Personal selbst durchgeführt werden.

Zum Aspekt der Inbetriebnahme gehört auch die Umschulung auf neue Komponenten. Im folgenden Beispiel nach BACKHAUS werden die Umschulungskosten für ein Medizinprodukt in der Intensivmedizin in Deutschland beschrieben: Ist mit einer zusätzlichen Schulungsstunde à 100€ pro Anwender zu rechnen, so ergeben sich zusätzliche jährliche Kosten von 4,9 Millionen Euro für die deutschen Krankenhäuser [9]. Da dieser Schulungsaufwand bei der Verwendung des Arbeitsplatzes aufgrund der Verwendung vertrauter Komponenten nicht notwendig ist, können diese Kosten eingespart werden.

Weiterhin können, aufgrund der einfachen Konfigurierbarkeit, jederzeit Komponenten getauscht oder umpositioniert werden, ohne das erhöhte Servicekosten anfallen.

5.2.3 Produktnutzung

Um das Nutzen für das OP-Team und das Krankenhaus weiter zu steigern, ist es nötig, einen optimalen Arbeitsablauf zu ermöglichen. Werden Arbeitsaufgaben schnell und gezielt durchgeführt, so kann die Zahl der an einem Arbeitstag operierten Patienten erhöht werden, was wiederum die Unterhaltskosten der OP-Station senkt [72]. Ein Beispiel für diesen verbesserten Arbeitsablauf ist das neu entwickelte Drapingkonzept, durch das fünf Arbeitsschritte vereint werden (viermaliges Drapen der Instrumente sowie Drapen des Arbeitsplatzes). Der Leser wird gebeten, weitere Beispiele Abschnitt 4.3.2, S.46 zu entnehmen.

Der Trend der Entwicklung geht eindeutig in Richtung hochintegrierter OP-Säle, in denen alle Komponenten miteinander verbunden sind und ständig Daten austauschen [27]. Dieser Vernetzung wird weiteres Optimierungspotenzial bestehender Arbeitsabläufe zugesprochen. Z.B. können Planungs- und Patientendaten intraoperativ eingesehen, Bildmaterial zu Schulungszwecken übertragen oder externe Experten zur Beratung hinzugesogen werden [74]. Zusätzlich können Systeme wie das CoreNova® der Firma Richard Wolf eine intraoperative Steuerung vieler OP-Komponenten vom Sterilfeld aus ermöglichen. Solch eine Vernetzung der Komponenten ist innerhalb des Arbeitsplatzes problemlos und ohne das Auftreten von störenden Kabeln möglich, da diese ohnehin schon auf sehr engem Raum zusammengeführt wurden.

Trotz der erhöhten Integrationsdichte ist der Arbeitsplatz aber dennoch, wie das gesamte Miro-

Surge-System, mobil und kann ohne größere Veränderungen oder gar Umbauten in bestehende OP-Säle integriert werden. Somit ist es möglich den OP-Saal kurzfristig, z.B. aufgrund von technischen Schwierigkeiten oder Unstimmigkeiten im Belegungsplan, zu wechseln. Die Mobilität des Arbeitsplatzes ist außerdem einem abteilungsübergreifenden Einsatz des Robotersystems zuträglich.

5.2.4 Entsorgung

Sollte eine Entsorgung des Arbeitsplatzes notwendig werden, so kann dieser einfach in seine Einzelteile zerlegt werden. Da dieser aus sicherheitsunkritischen Materialien, wie Aluminiumprofilen und Kunststoffplatten besteht, kann die Entsorgung ohne erhöhten Kosten- und Zeitaufwand erfolgen. Übrig bleiben die intakten OP-Komponenten, die entweder weiterverwendet, oder auf einem Gebrauchtmart für Medizinprodukte verkauft werden können.

6 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde ein Konzept für einen Assistentenarbeitsplatz innerhalb der MIRS entwickelt, validiert und daraus die erste Konstruktion eines Prototyps abgeleitet. Benutzertests mit den Endnutzern und Recherchen zum klinischen Alltag zeigten eine gute Gebrauchsauglichkeit und Akzeptanz des Systems. Innerhalb der Diskussion wurde die Notwendigkeit weiterer Schritte aufgezeigt und der Mehrwert des Systems erläutert.

Zunächst wurde das Arbeitsumfeld innerhalb der MIRS durch Recherchen und Feldbeobachtungen erfasst. Aus diesen Beobachtungen wurden die Ziele für die Entwicklung des Arbeitsplatzes definiert:

1. Der Arbeitsplatz soll die Flexibilität des MiroSurge-Systems aufgreifen.
2. Der Arbeitsplatz soll vielseitig sein und sich an unterschiedliche OP-Szenarien und OP-Teams anpassen.
3. Der Arbeitsplatz soll die benötigten Komponenten, Instrumente und Materialien einfach zugänglich machen.
4. Der Arbeitsplatz soll die für jeden Akteur relevanten Informationen leicht verständlich und gut einsehbar darstellen.
5. Der Arbeitsplatz soll das benötigte OP-Zubehör kompakt zusammenführen.

Ein Konzept im Einklang mit diesen Zielen wurde erstellt und durch einen Benutzertest mit OP-Schwestern auf Konsistenz überprüft. Darauf aufbauend wurde ein Lastenheft erstellt, ein Prototyp konstruiert und eine Stückliste angefertigt, um einen Leitfaden für nachfolgende Konstrukteure zu liefern.

Die Gebrauchstauglichkeit dieses Konzepts ist von übergreifender Bedeutung. Gebrauchstaugliche Medizinprodukte sparen Kosten, fördern die Akzeptanz neuartiger technischer Systeme und begünstigen dadurch die Gesundheit der Patienten. Die Erreichung eines derart hohen Grades an Zustimmung des Klinikpersonals war nur durch eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit möglich. Involvierte Disziplinen waren die Psychologie, Medizin, Elektro- und Informationstechnik, das Gesundheitswesen und nicht zuletzt das Industrial Design und der Maschinenbau. Die Rolle des angehenden Ingenieurs war in diesem Prozess von vermittelter Natur. Es wurde stets darauf geachtet, den Bedürfnissen aller Stakeholder gerecht zu werden, um ein ganzheitliches Konzept zu formulieren. Die Partnerdisziplin des Industrial Designs war stets unterstützend zur Stelle, als Fragen zur Benutzbarkeit, Handhabbarkeit, der Benutzeremotion und der Einfachheit auftraten.

So war es beiden Entwicklern möglich, im Team ihr Können und ihre Stärken zu entfalten, um an gemeinsamen Lösungsideen zu arbeiten. Dabei war es bemerkenswert, wie zielgerichtet und positiv der Synergieeffekt aussfällt, wenn beide Entwickler einen gemeinsamen übergeordneten Sinn in der Entwicklungsaufgabe sehen. Dieser Sinn war zu jeder Zeit der Wille, technische Systeme zum Wohle der Menschen zu verbessern und zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

- [1] Cancer Stat Fact Sheets@ONLINE, 2013.
- [2] Krebs in Deutschland 2009/2010. Robert Koch Institut, 2013.
- [3] Prostate Cancer Screening: A Review of the Guidelines@ONLINE, November 2013.
- [4] N.S. Abraham, J.M. Young, and M.J. Solomon. Meta-analysis of short-term outcomes after laparoscopic resection for colorectal cancer. *BR J Surg*, 91(9):1111–24, September 2004.
- [5] Anschlusskabel Und Adapter für die HF-Chirurgie.
- [6] Maurice E. Arregui, editor. *Principles of laparoscopic surgery : basic and advanced techniques*. Springer, New York u.a., 1995.
- [7] P. Atteslander. *Methoden der empirischen Sozialforschung*. ESV basics. Schmidt, Berlin, 13., neu bearb. und erw. aufl. edition, 2010.
- [8] A. Ayav, L. Bresler, L. Brunaud, and P. Boissel. Early results of one-year robotic surgery using the da vinci system to perform advanced laparoscopic procedures. *Journal of Gastrointestinal Surgery*, 8(6):720–726, 2004.
- [9] C. Backhaus. *Usability-Engineering In Der Medizintechnik: Grundlagen - Methoden - Beispiele*. VDI-Buch. Springer, 2010.
- [10] G. I. Barbash and S. A. Glied. New technology and health care costs - The case of robot-assisted surgery. *N. Engl. J. Med.*, 363(8):701–704, Aug 2010.
- [11] Bundesagentur für Arbeit. Beruf Aktuell 2013/2014. Nürnberg, 2013.
- [12] G. B. Cadiere, J. Himpens, O. Germal, R. Izizaw, M. Degueldre, J. Vandromme, E. Capelluto, and J. Bruyns. Feasibility of robotic laparoscopic surgery: 146 cases. *World J Surg*, 25(11):1467–1477, Nov 2001.
- [13] R.J. Caras, M.B. Lustik, S.Q. Kern, J.R. Sterbis, and L.P. McMann. Laparoscopic radical prostatectomy demonstrates less morbidity than open radical prostatectomy: an analysis of the American College of Surgeons-National Surgical Quality Improvement Program database with a focus on surgical trainee involvement. *J Endourol*, 28(3):298–305, March 2014.

-
- [14] Thomas Carus. *Operationsatlas laparoskopische Chirurgie : [Indikationen, Operationsablauf, Varianten, Komplikationen ; mit bariatrischer Chirurgie]*. Springer, Berlin ; Heidelberg, 3. aufl. edition, 2014. Elektronische Ressource.
- [15] G. P. Claus, W. Sjoerdsma, A. Jansen, and C. A. Grimbergen. Quantitative standardised analysis of advanced laparoscopic surgical procedures. *Endosc Surg Allied Technol*, 3(4):210–213, Aug 1995.
- [16] F. Corcione, C. Esposito, D. Cuccurullo, A. Settembre, N. Miranda, F. Amato, F. Pirozzi, and P. Caiazzo. Advantages and limits of robot-assisted laparoscopic surgery: preliminary experience. *Surg Endosc*, 19(1):117–119, Jan 2005.
- [17] Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 1: Begriffe, Messverfahren, March 2008.
- [18] Jean-Louis Dulucq, editor. *Tips and Techniques in Laparoscopic Surgery*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2005. Elektronische Ressource.
- [19] B. K. Edwards, A. M. Noone, A. B. Mariotto, E. P. Simard, F. P. Boscoe, S. J. Henley, A. Jemal, H. Cho, R. N. Anderson, B. A. Kohler, C. R. Ehemann, and E. M. Ward. Annual Report to the Nation on the status of cancer, 1975-2010, featuring prevalence of comorbidity and impact on survival among persons with lung, colorectal, breast, or prostate cancer. *Cancer*, 120(9):1290–1314, May 2014.
- [20] Klaus Ehrlenspiel. *Integrierte Produktentwicklung : Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. Hanser, München [u.a.], 3., aktualisierte aufl. edition, 2007.
- [21] A. M. Emara, S. S. Kommu, R. G. Hindley, and N. J. Barber. Robot-assisted partial nephrectomy vs laparoscopic cryoablation for the small renal mass: redefining the minimally invasive 'gold standard'. *BJU Int.*, 113(1):92–99, Jan 2014.
- [22] C. Esposito and P. Montupet. Laparoscopic treatment of recurrent inguinal hernia in children. *Pediatr Surg Int*, 14(3):182–4, December 1998.
- [23] V. Ficarra, S. Bhayani, J. Porter, N. Buffi, R. Lee, A. Cestari, G. Novara, and A. Motturie. Robot-assisted partial nephrectomy for renal tumors larger than 4 cm: results of a multicenter, international series. *World J Urol*, 30(5):665–670, Oct 2012.
- [24] Anthony G. Gallagher and C. Daniel Smith. Human-Factors Lessons Learned from the Minimally Invasive Surgery Revolution. *Surgical Innovation*, 10(3):127–139, 2003.
- [25] M. Glückler and J. Graef. Konzeption, Gestaltung und Validierung einer anwenderorien-

- tierten Benutzerschnittstelle für das MiroSurge Chirurgiesystem. Master's thesis, Hochschule für Gestaltung Schwäbisch Gmünd, 2012.
- [26] P.S. Green, J.W. Hill, J.F. Jensen, and A. Shah. Telepresence surgery. *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE*, 14(3):324–329, May 1995.
- [27] D. Gregorczyk, T. Bubhaus, and S. Fischer. A proof of concept for medical device integration using Web Services. In *Systems, Signals and Devices (SSD), 2012 9th International Multi-Conference on*, pages 1–6, March 2012.
- [28] U. Hagn. *The aspect of versatility in the design of a lightweight robot for surgical applications*. PhD thesis, University of Hannover, 2011.
- [29] U. Hagn, R. Konietzschke, A. Tobergte, M. Nickl, S. Jorg, B. Kubler, G. Passig, M. Groger, F. Frohlich, U. Seibold, L. Le-Tien, A. Albu-Schaffer, A. Nothhelfer, F. Hacker, M. Grebenstein, and G. Hirzinger. DLR MiroSurge: a versatile system for research in endoscopic telesurgery. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 5(2):183–193, Mar 2010.
- [30] U Hagn, M Nickl, S Jörg, A Tobergte, B Kübler, G Passig, M Gröger, F Fröhlich, U Seibold, R Konietzschke, et al. DLR MIROSURGE—towards versatility in surgical robotics. *Proceedings of CURAC*, 9:143–146, 2008.
- [31] Ulrich Hagn, Mathias Nickl, Stefan Jörg, Georg Passig, Thomas Bahls, Alexander Nothhelfer, Franz Hacker, Luc Le-Tien, Alin Albu-Schäffer, Rainer Konietzschke, et al. The DLR MIRO: a versatile lightweight robot for surgical applications. *Industrial Robot: An International Journal*, 35(4):324–336, 2008.
- [32] Doris Henne-Bruns and Harald Barth, editors. *Chirurgie : 311 Tabellen*. Duale Reihe. Thieme, Stuttgart, 3., vollst. überarb. und erw. aufl. edition, 2008.
- [33] J.W. Hills and J.F. Jensen. Telepresence technology in medicine: principles and applications. *Proceedings of the IEEE*, 86(3):569–580, Mar 1998.
- [34] G. Hirzinger. *Medizintechnik*, chapter Maschinengestütztes Operieren, Mechatronik und Robotik, pages 2071–2078. Springer, Berlin, 2009.
- [35] Gerhard Hirzinger and Ulrich Hagn. Gelenkig am offenen Herzen. *forschung*, 34(2):4–7, 2009.
- [36] E. F. Jacobs, R. Boris, and T. A. Masterson. Advances in Robotic-Assisted Radical Prostatectomy over Time. *Prostate Cancer*, 2013:902686, 2013.

-
- [37] DG. Jayne, HC. Thorpe, J. Copeland, P. Quirke, JM. Brown, and PJ. Guillou. Five-year follow-up of the Medical Research Council CLASICC trial of laparoscopically assisted versus open surgery for colorectal cancer. *Br J Surg.*, 97(11):1638–45, November 2010.
- [38] P. Joice, G. B. Hanna, and A. Cuschieri. Errors enacted during endoscopic surgery - a human reliability analysis. *Appl Ergon*, 29(6):409–414, Dec 1998.
- [39] H.G. Kenngott, L. Fischer, F. Nickel, J. Rom, J. Rassweiler, and B.P. Müller-Stich. Status of robotic assistance - a less traumatic and more accurate minimally invasive surgery? *Langenbeck's Archives of Surgery*, 397(3):333–341, 2012.
- [40] Ferdinand Köckerling and Wolfgang Feil, editors. *Video-endoskopische Chirurgie : Grundlagen - Prinzipien - Perspektiven*. Barth, Heidelberg [u.a.], 1998.
- [41] Rainer Konietzschke, Ulrich Hagn, Mathias Nickl, Stefan Jörg, Andreas Tobergte, Georg Passig, Ulrich Seibold, Luc Le Tien, Bernhard Kübler, Martin Gröger, et al. The DLR MiroSurge-A robotic system for surgery. 9:1589–90, 2009.
- [42] K. Kremer, W. Lierse, W. Platzer, H.W. Schreiber, and S. (Hrsg) Weller. *Cirurgische Operationslehre*, volume 7/2. Thieme, 1995.
- [43] S. Lamnek. *Qualitative Sozialforschung*. Beltz, Weinheim [u.a.], 5., überarb. aufl. edition, 2010.
- [44] A. A. Laviana and J. C. Hu. Current controversies and challenges in robotic-assisted, laparoscopic, and open partial nephrectomies. *World J Urol*, 32(3):591–596, Jun 2014.
- [45] E. C. Lee, A. Rafiq, R. Merrell, R. Ackerman, and J. T. Dennerlein. Ergonomics and human factors in endoscopic surgery: a comparison of manual vs telerobotic simulation systems. *Surg Endosc*, 19(8):1064–1070, Aug 2005.
- [46] U. Lindemann. *Methodische Entwicklung technischer Produkte : Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. Springer, Berlin [u.a.], 2., bearb. aufl. edition, 2007.
- [47] M. M. Lux, M. Marshall, E. Erturk, and J. V. Joseph. Ergonomic evaluation and guidelines for use of the daVinci Robot system. *J. Endourol.*, 24(3):371–375, Mar 2010.
- [48] R. Mathieu, G. Verhoest, S. Vincendeau, A. Manunta, and K. Bensalah. Robotic-assisted laparoendoscopic single-site radical nephrectomy: first experience with the novel Da Vinci single-site platform. *World J Urol*, 32(1):273–276, Feb 2014.

- [49] J. Moctezuma, J. Bernasch, G. Lohmann, A. Schweikard, and F. Gosse. Robotic surgery and planning for corrective femur osteotomy. In *Intelligent Robots and Systems '94. 'Advanced Robotic Systems and the Real World', IROS '94. Proceedings of the IEEE/RSJ/GI International Conference on*, volume 2, pages 870–877 vol.2, Sep 1994.
- [50] M. Morneau, J. Boulanger, P. Charlebois, JF. Latulippe, R. Lougnarath, C. Thibault, and N. Gervais. Laparoscopic versus open surgery for the treatment of colorectal cancer: a literature review and recommendations from the Comité de l'évolution des pratiques en oncologie. *Can J Surg*, 56(5):297–310, October 2013.
- [51] Gustav Niemann, Hans Winter, and Bernd-Robert Höhn. *Maschinenelemente : Entwerfen, Berechnen und Gestalten im Maschinenbau ; ein Lehr- und Arbeitsbuch*. Springer, Berlin [u.a.], 2005.
- [52] K. Ohta, I. Takemasa, M. Uemura, J. Nishimura, T. Mizushima, M. Ikeda, H. Yamamoto, M. Sekimoto, Y. Doki, and M. Mori. Laparoscopic Surgery for Stage IV Colorectal Cancer. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech*, 24(2):153–7, April 2014.
- [53] Burkhard Paetz and Brigitte Benzinger-König. *Chirurgie für Pflegeberufe : 82 Tabellen*. Reihe Krankheitslehre. Thieme, Stuttgart [u.a.], 20., völlig neu bearb. Aufl. edition, 2004.
- [54] Gerhard Pahl, editor. *Konstruktionslehre : Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung ; Methoden und Anwendung*. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin [u.a.], 6. Aufl. edition, 2005.
- [55] N. Pant, SK. Aggarwal, and SK. Ratan. Laparoscopic repair of hernia in children: Comparison between ligation and nonligation of sac. *J Indian Assoc Pediatr Surg*, 19(2):76–9, April 2014.
- [56] A. Papachristos, M. Basto, L. Te Marvelde, and D. Moon. Laparoscopic versus robotic-assisted radical prostatectomy: an Australian single-surgeon series. *ANZ J Surg*, Apr 2014.
- [57] K. S. Png and C. P. Sundaram. Current status of robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy. *Indian J Surg Oncol*, 3(2):91–95, Jun 2012.
- [58] Josef Christian Ponn and Udo Lindemann. *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte : systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltungsformen*. VDI-Buch. Springer, Berlin ; Heidelberg, 2. Aufl. edition, 2011.
- [59] A.J. Portis and Clayman R.V. Should laparoscopy be the standard approach used for

- radical nephrectomy? *Curr Urol Rep*, 2(2):165–70, April 2001.
- [60] T.M. Raymond, J.K. Dastur, U.P. Khot, and M.C. Parker. Hospital Stay and Return to Full Activity Following Laparoscopic Colorectal Surgery. *JSLS*, 12(2):143–149, April 2008.
- [61] Alberto Rosenblatt, Renaud Bollens, and Baldo Espinoza Cohen, editors. *Manual of Laparoscopic Urology*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008. Elektronische Ressource.
- [62] L. Santos-Carreras, M. Hagen, R. Gassert, and H. Bleuler. Survey on surgical instrument handle design: ergonomics and acceptance. *Surg Innov*, 19(1):50–59, Mar 2012.
- [63] R. Saranga Bharathi, M. Arora, and V. Baskaran. Minimal access surgery of pediatric inguinal hernias: a review. *Surg Endosc*, 22(8):1751–62, August 2008.
- [64] Hubertus Schellong. *1 x 1 der ambulanten Chirurgie : [Qualitätsstandards und Wirtschaftlichkeit]*. Lehmanns media Medizin. Lehmanns media, Berlin, 2011.
- [65] F. Schier. Laparoscopic herniorrhaphy in girls. *J Pediatr Surg*, 33(10):1495–7, October 1998.
- [66] Ulrich Seibold. *An advanced force feedback tool design for minimally invasive robotic surgery*. 2012. München, Techn. Univ., Diss., 2012.
- [67] T. Sejima, T. Masago, S. Morizane, K. Hikita, N. Kobayashi, A. Yao, K. Muraoka, M. Honda, H. Kitano, and A. Takenaka. Robot-assisted radical prostatectomy: a case series of the first 100 patients—constitutional introduction and implementation on the basis of comprehensive department of minimal invasive surgery center. *BMC Res Notes*, 6:436, 2013.
- [68] Jörg R. Siewert and Robert Bernhard Brauer, editors. *Basiswissen Chirurgie : mit 101 Tabellen ; [jetzt neu mit Fallquiz]*. Springer-Lehrbuch. Springer, Heidelberg, 2., überarb. und aktualisierte aufl. edition, 2010.
- [69] J. Silberstein and J.K. Parson. Hand-Assisted and Total Laparoscopic Nephrectomy: a Comparison. *JSLS*, 13(1):36–46, January 2009.
- [70] D. Stoianovici, K. Cleary, A. Patriciu, D. Mazilu, A. Stanimir, N. Craciunoiu, V. Watson, and L. Kavoussi. AcuBot: a robot for radiological interventions. *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, 19(5):927–930, Oct 2003.
- [71] Jens-Uwe Stolzenburg, Ingolf Türk, and Evangelos N. Liatsikos, editors. *Laparoskopische und roboterassistierte Chirurgie in der Urologie : Atlas der Standardeingriffe*. Springer,

- Heidelberg, 2011. Elektronische Ressource.
- [72] Bofei Sun, Jie Song, and Leyuan Shi. Integrated operating room scheduling optimization under particularly workload constrain of surgeon. In *Automation Science and Engineering (CASE), 2013 IEEE International Conference on*, pages 972–977, Aug 2013.
- [73] P. Sylla, I. Kirman, and R.L. Whelan. Immunological Advantages of Advanced Laparoscopy. In N.A. Patel and R. Bergamaschi, editors, *Laparoscopic Surgery: Beyond Mere Feasibility*, volume 85, pages 1–19. Elsevier, February 2005.
- [74] R.H. Taylor. A Perspective on Medical Robotics. *Proceedings of the IEEE*, 94(9):1652–64, September 2006.
- [75] R.H. Taylor, B.D. Mittelstadt, H.A. Paul, W. Hanson, P. Kazanzides, J.F. Zuhars, B. Williamson, B.L. Musits, E. Glassman, and W.L. Bargar. An image-directed robotic system for precise orthopaedic surgery. *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, 10(3):261–275, Jun 1994.
- [76] Sophie Thielmann, Ulrich Seibold, Robert Haslinger, Georg Passig, Thomas Bahls, S Jorg, Mathias Nickl, Alexander Nothhelfer, Ulrich Hagn, and Gerd Hirzinger. MICA-A new generation of versatile instruments in robotic surgery. pages 871–878, 2010.
- [77] M. J. van Det, W. J. Meijerink, C. Hoff, E. R. Totte, and J. P. Pierie. Optimal ergonomics for laparoscopic surgery in minimally invasive surgery suites: a review and guidelines. *Surg Endosc*, 23(6):1279–1285, Jun 2009.
- [78] M. A. van Veelen, E. A. Nederlof, R. H. Goossens, C. J. Schot, and J. J. Jakimowicz. Ergonomic problems encountered by the medical team related to products used for minimally invasive surgery. *Surg Endosc*, 17(7):1077–1081, Jul 2003.
- [79] N.C. von Sternberg, A. Kilicarslan, N.V. Navkar, Zhigang Deng, K. Grigoriadis, and N.V. Tsekos. Implementation of a force-feedback interface for robotic assisted interventions with real-time MRI guidance. In *Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on*, pages 4869–4874, May 2013.
- [80] M. Von zur Mühlen and Ch. (Hrsg) Keller. *Pflege Konkret - Chirurgie Orthopädie Urologie*, volume 3. Elsevier, Urban & Fischer, December 2009.
- [81] B. Weber, A. Schneider, D. Draschkow, and G Hirzinger. *Fortschrittliche Anzeigesysteme für die Fahrzeug- und Prozessführung*, chapter Informationsaustausch in klinischen

- Teams bei Nutzung eines Robotersystems für minimal-invasive Chirurgie, pages S. 299–302. DGLR, 2012.
- [82] E. P. Westebring-van der Putten, R. H. Goossens, J. J. Jakimowicz, and J. Dankelman. Haptics in minimally invasive surgery—a review. *Minim Invasive Ther Allied Technol*, 17(1):3–16, 2008.
- [83] Erich Wintermantel and Suk-Woo Ha. *Medizintechnik : Interdisziplinarität, Biokompatibilität, Technologien, Implantate, Diagnostik, Werkstoffe, Business ; mit 200 Tabellen*. Springer, Berlin [u.a.], 4., überarb. und erw. Aufl. edition, 2008.
- [84] H. Xin, J.S. Zelek, and H. Carnahan. Laparoscopic Surgery, Perceptual Limitations and Force: A Review. Paper presented at the First Canadian Student Conference on Biomedical Computing, Kingston, Ontario, Kanada, 2006.

A Schaubilder der Funktionsmodellierungen

A.1 Relationsorientierte Funktionsmodellierung einer MIRS mit dem DaVinci-System

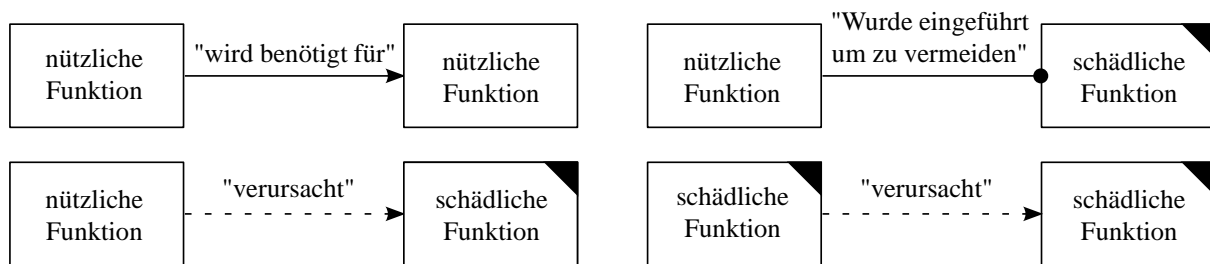


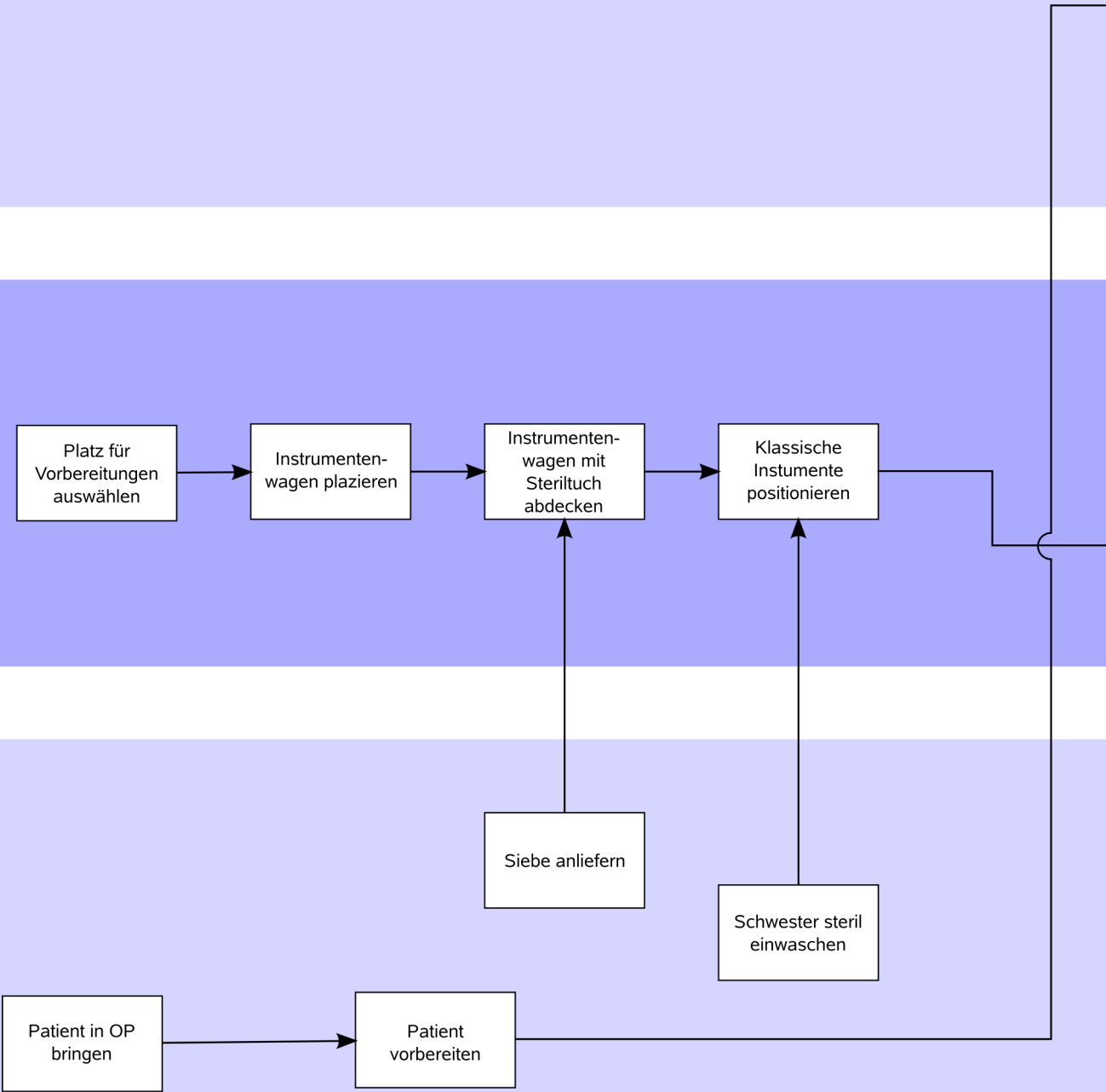
Abbildung A.1: Legende der *relationsorientierten Funktionsmodellierung*.

Präoperative Handlungen

Assitent

Schwester

Springer



Assistent

Patient vorbereiten

Trokare stechen

Endoskop
tauschen

4. Zeit verlieren

Schwester

Endoskop
lagern

2. Endoskop auf
Instrumente
lagern

3. Material
kontaminieren
oder beschädigen

4. Zeit verlieren

Klassische
Instrumente
positionieren

Endoskop
drapen

Endoskop
bereitstellen

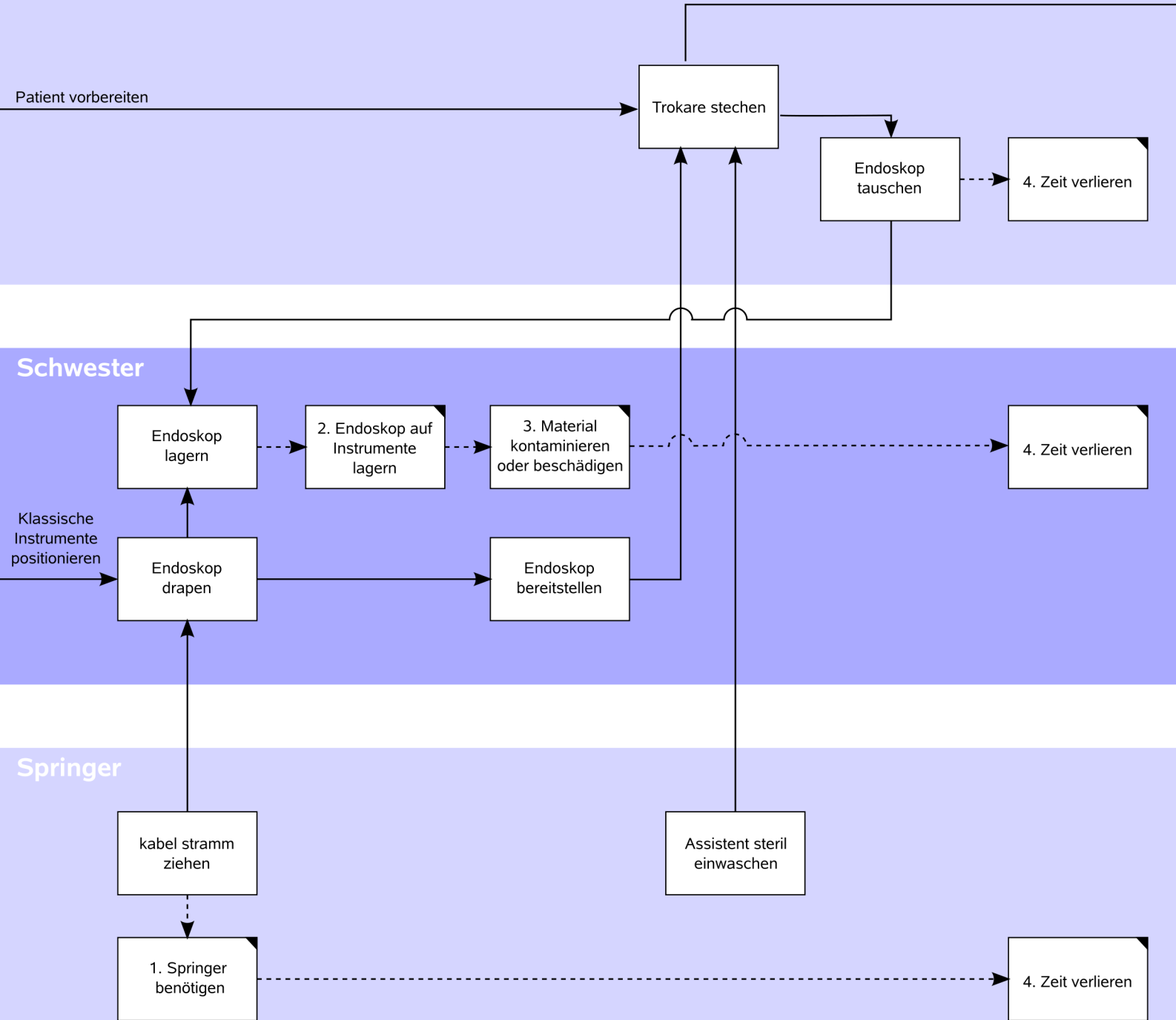
Springer

kabel stramm
ziehen

1. Springer
benötigen

Assistent steril
einwaschen

4. Zeit verlieren



Assitent

Trokare stechen

Operation starten

Schwester

5. Sterile Schwester benötigen

4. Zeit verlieren

Roboterarme Drapen

Instrumenten-
wagen
in steriefeld
integrieren

Infrastruktur
bereitstellen

Springer

Roboter
integrieren

OP-Komponenten
aufbauen

Infrastruktur
verkabeln

6. Roboter nach
nachträglich
integrieren

8. Platz
verschwenden

9. Kabel
ungeschützt
lagern

4. Zeit verlieren

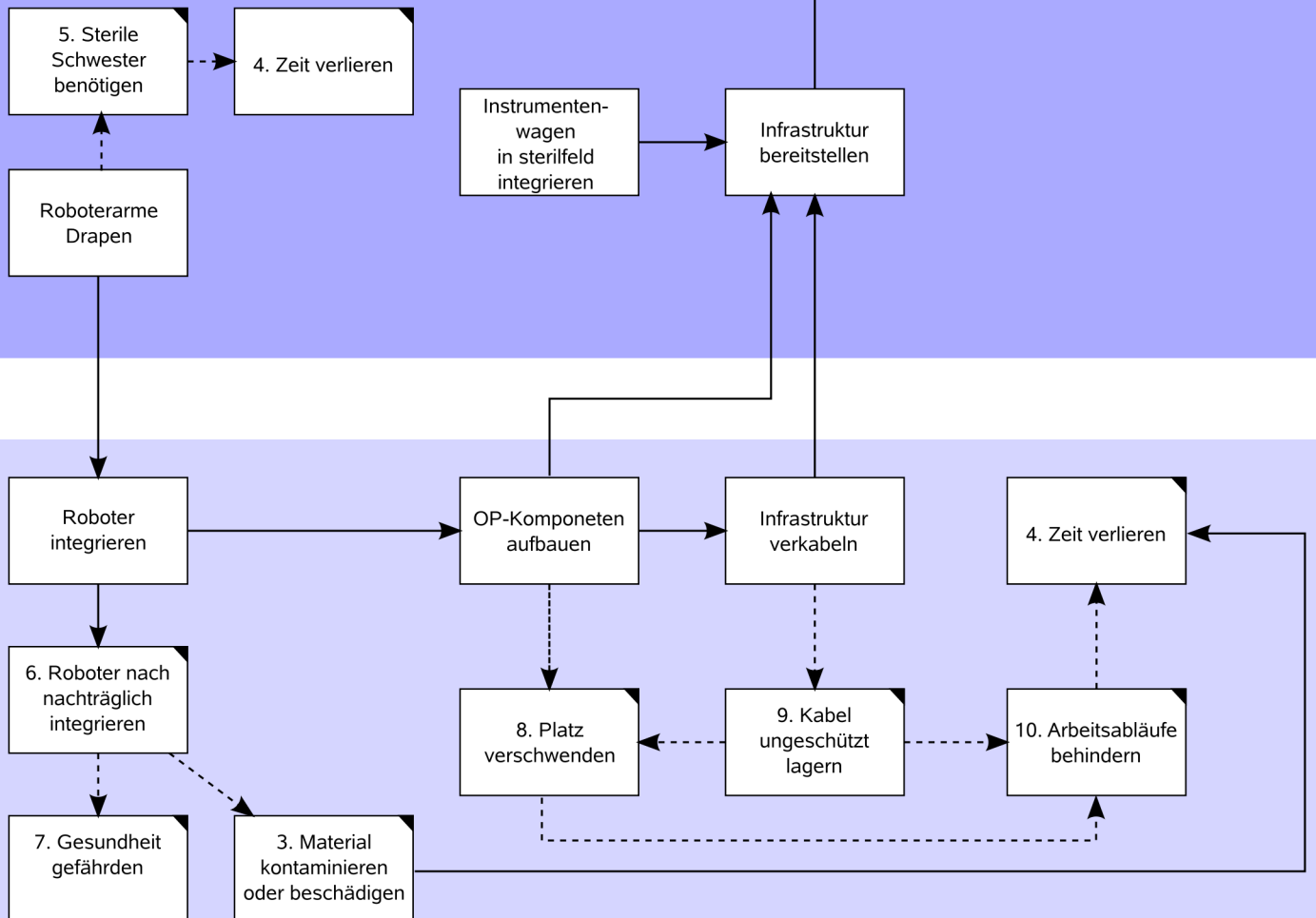
7. Gesundheit
gefährden

3. Material
kontaminieren
oder beschädigen

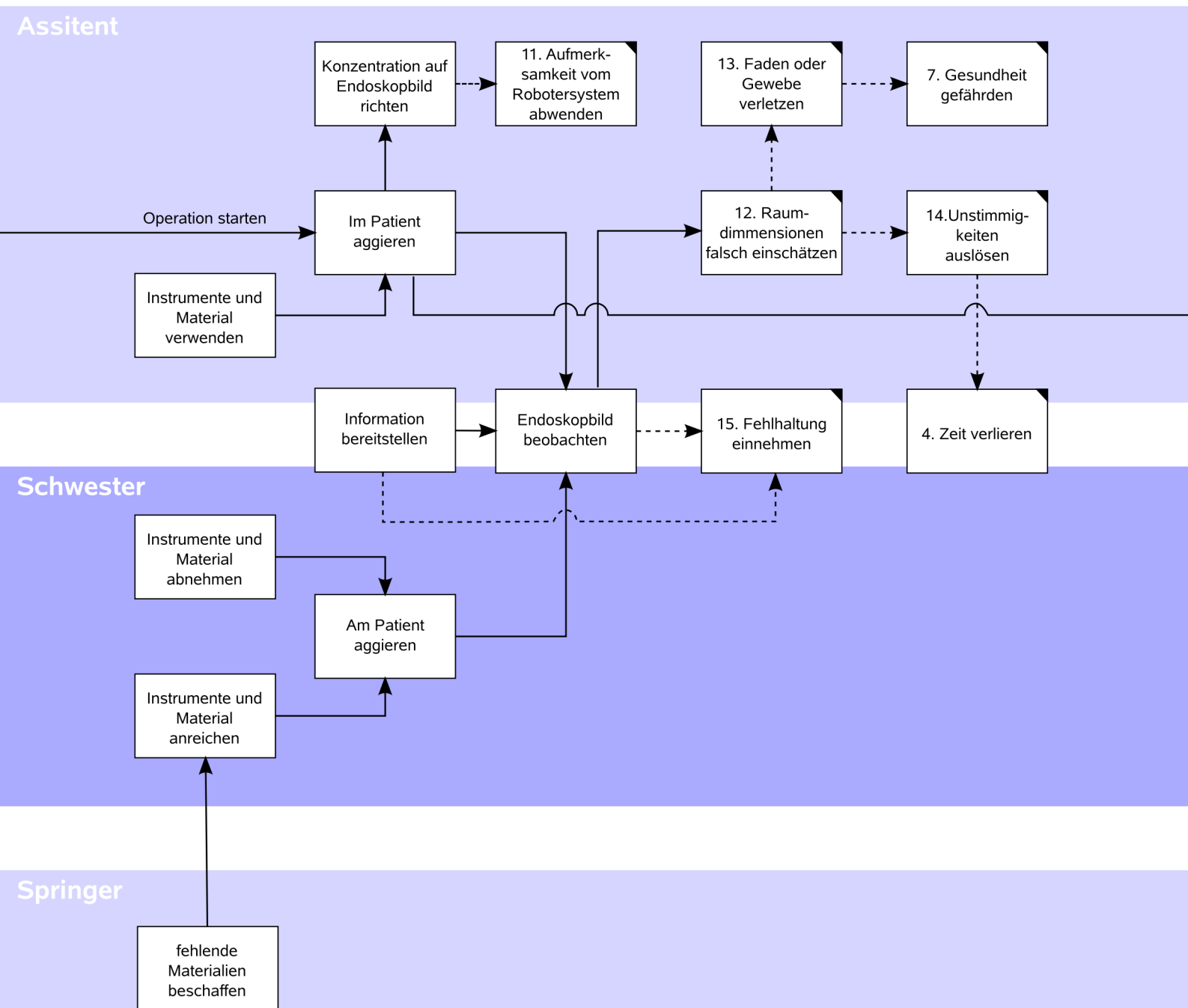
8. Platz
verschwenden

9. Kabel
ungeschützt
lagern

10. Arbeitsabläufe
behindern



Intraoperative Handlungen

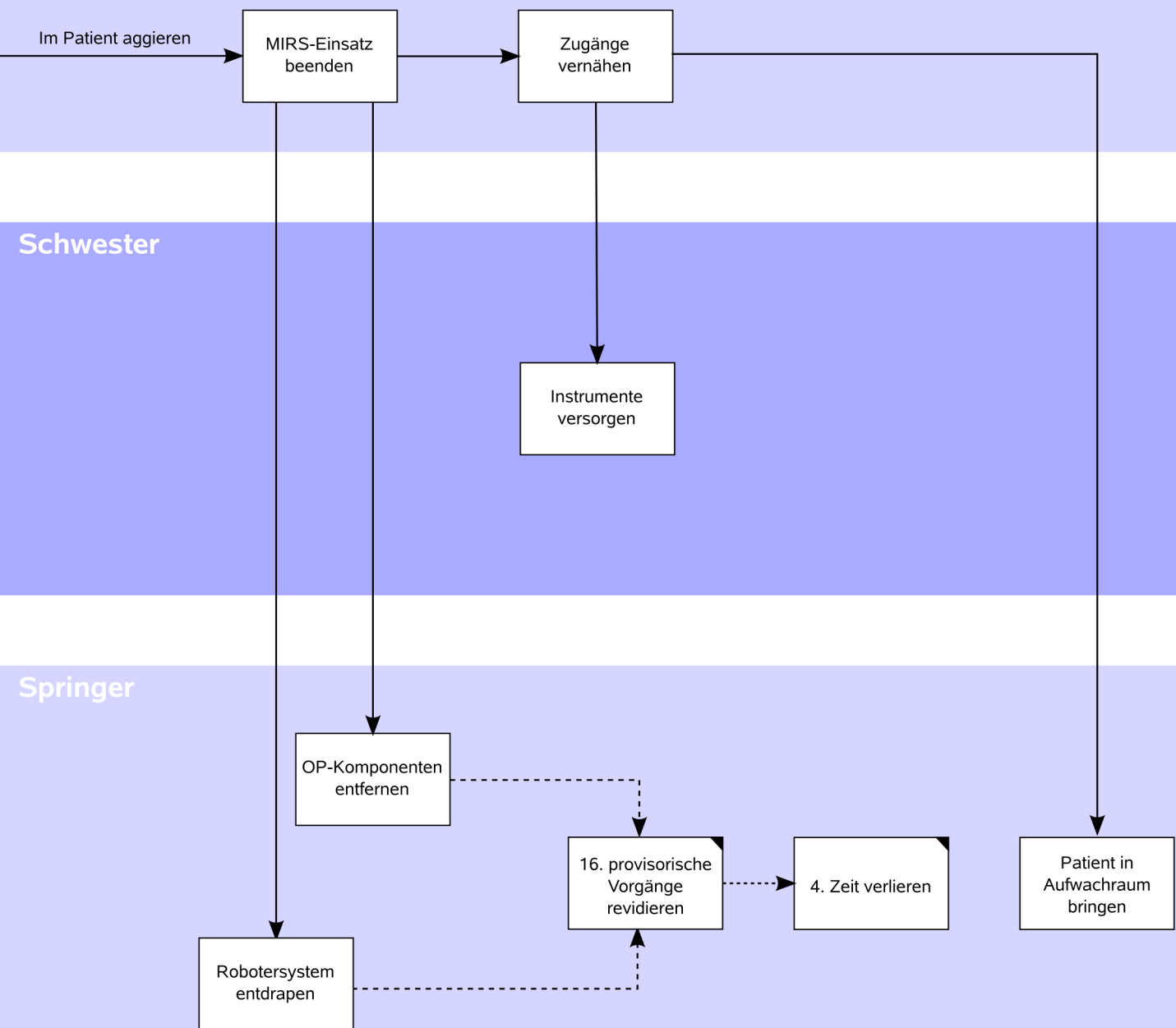


Postoperative Handlungen

Assistent

Schwester

Springer



A.2 Relationsorientierte Funktionsmodellierung einer MIRS mit dem MiroSurge-System

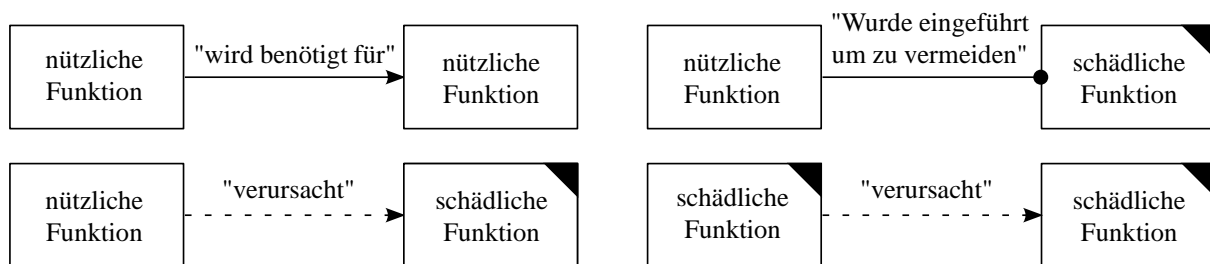


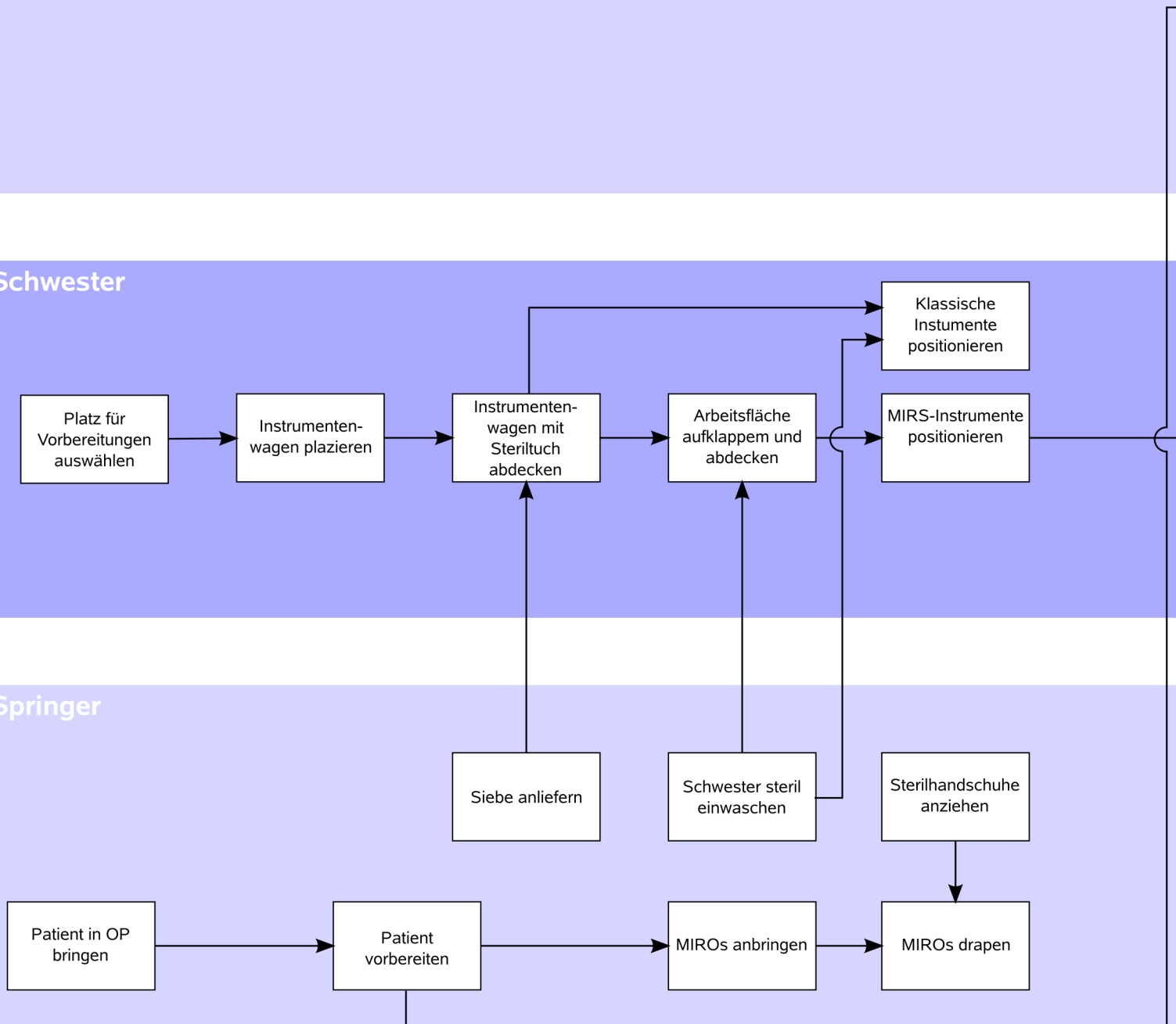
Abbildung A.2: Legende der *relationsorientierten Funktionsmodellierung*.

Präoperative Handlungen

Assitent

Schwester

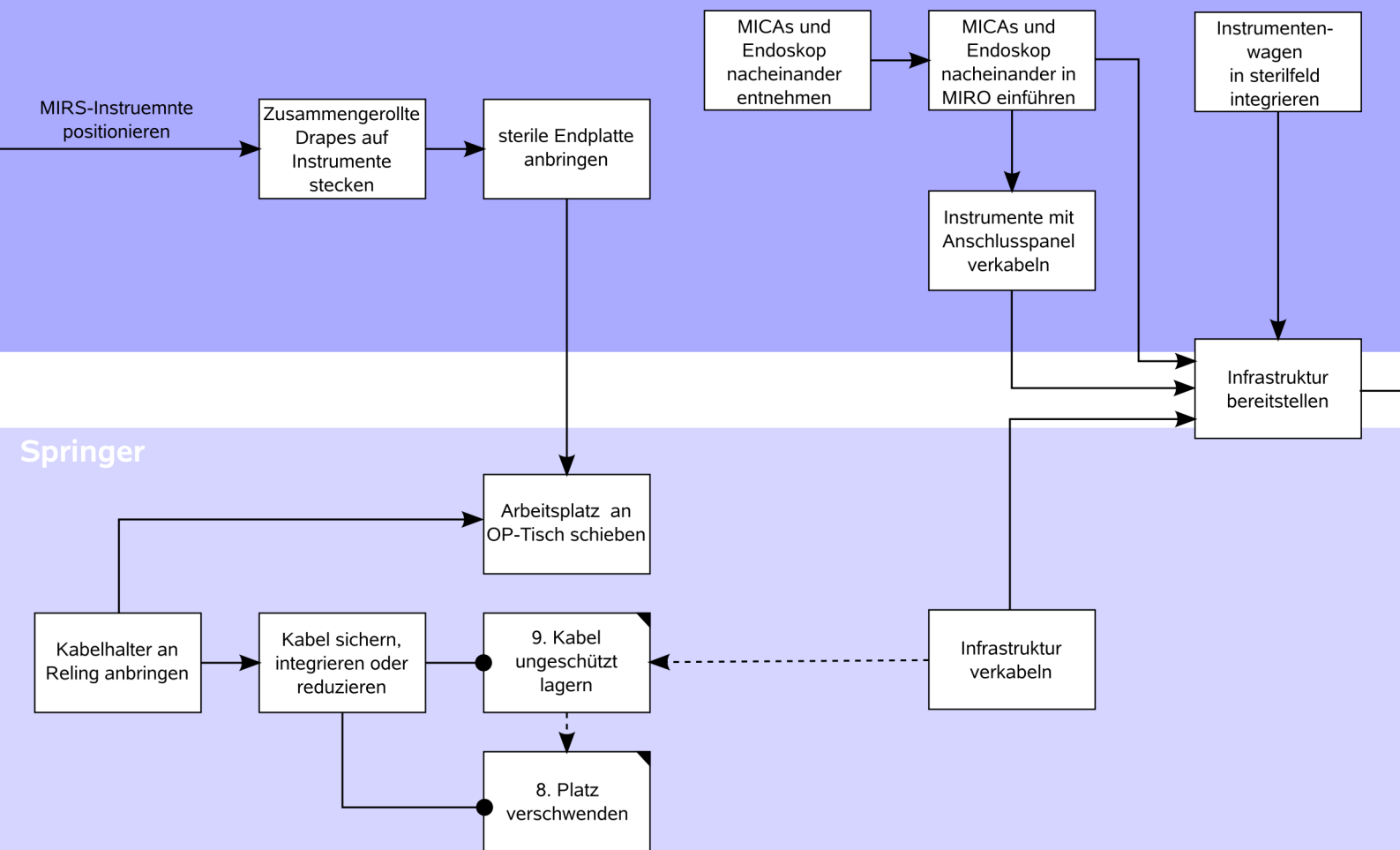
Springer



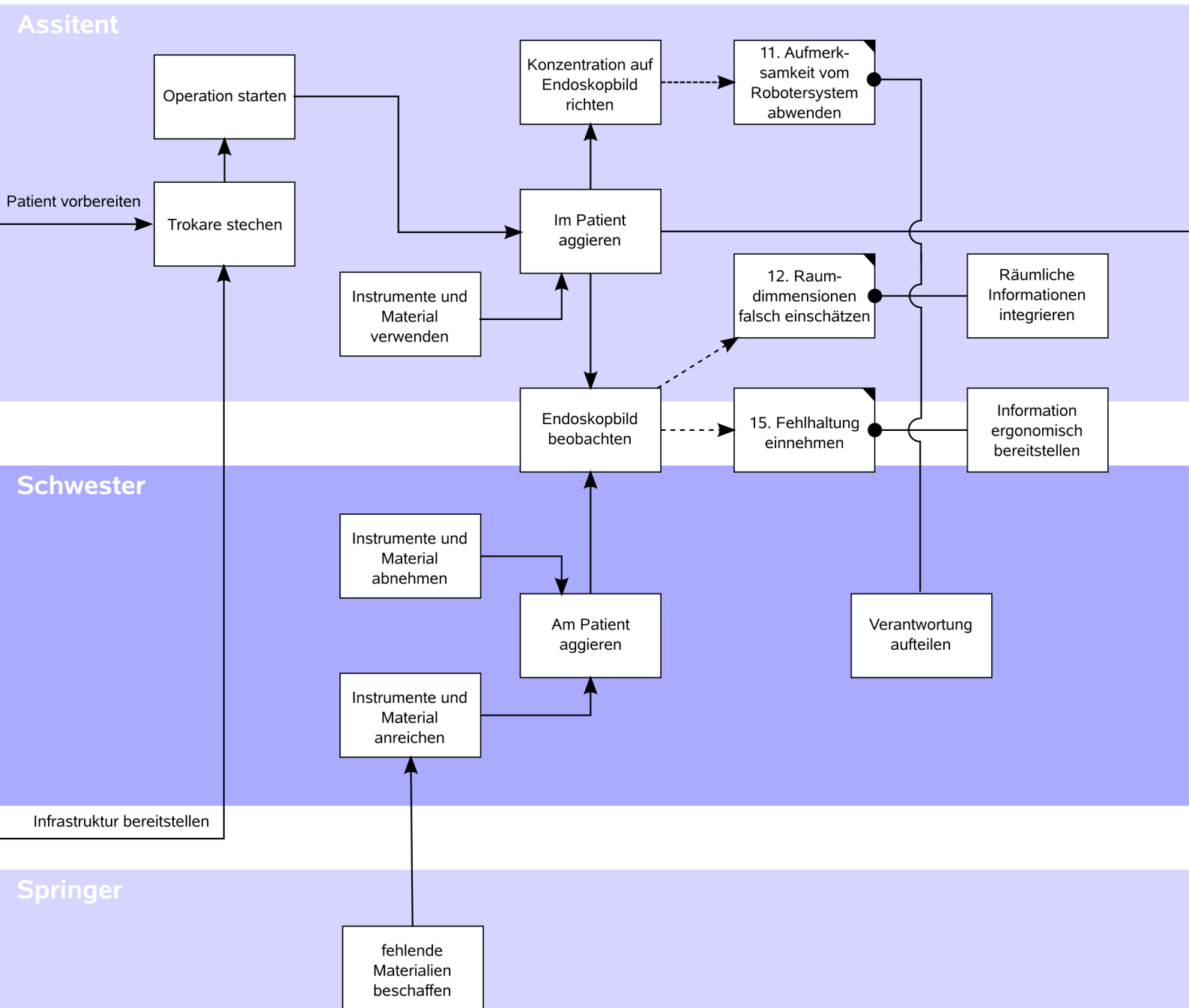
Assitent

Schwester

Springer



Intraoperative Handlungen

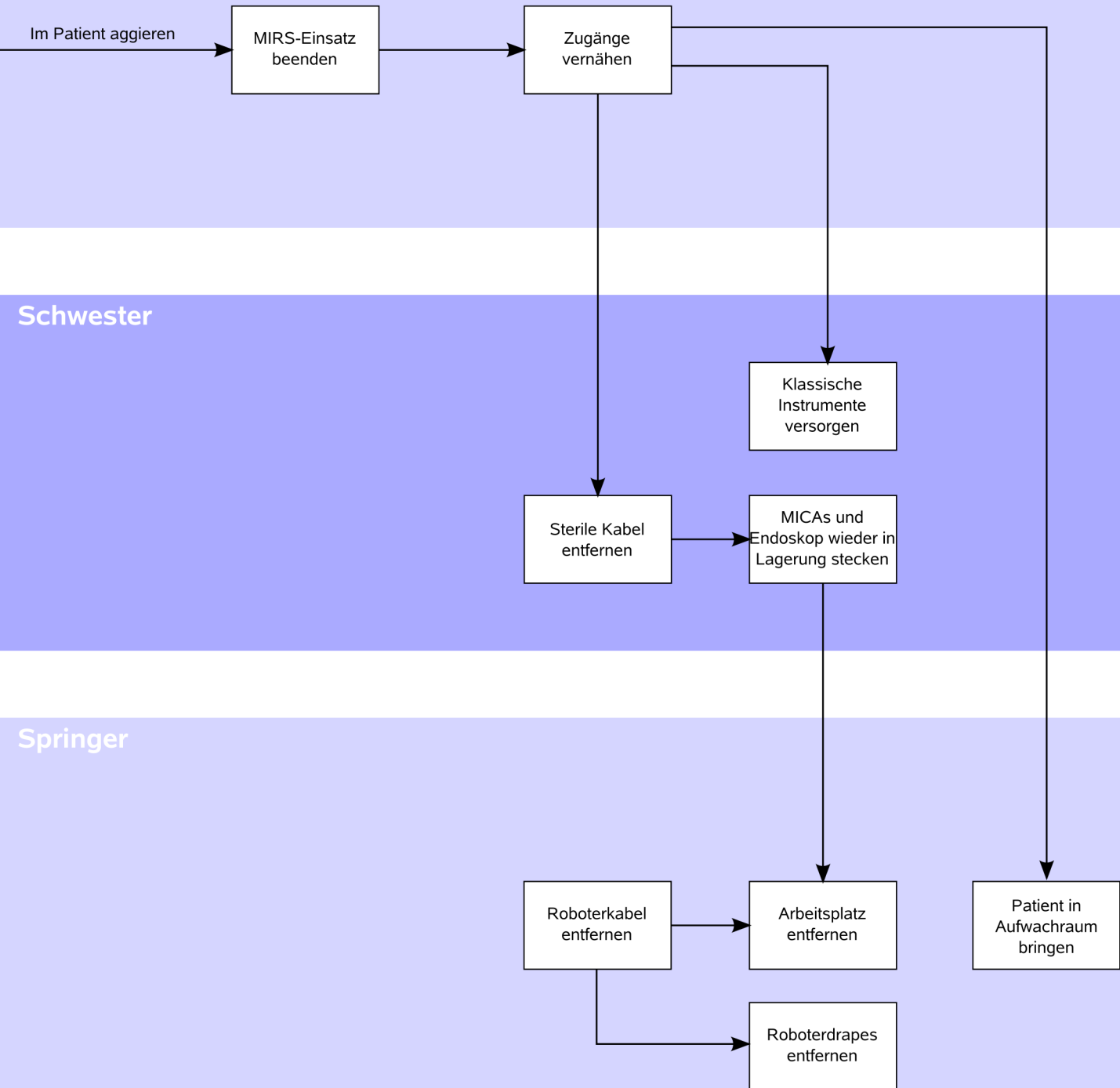


Postoperative Handlungen

Assistent

Schwester

Springer



B Tabellen

B.1 Anforderungsliste

Grundkonstruktion

Nr.	Beschreibung	Bezeichnung	Wert			Status
			min.	exakt	max.	
1. Geometrie						
1.1	Höhe	h			140cm	OK
1.2	Breite	B			60cm	
1.3	Tiefe	T			60cm	
2. Mobilität						
2.1	Lenkrollen	N_{Rollen}		2		OK
2.2	Arretierbare Lenkrollen	$N_{Rollen,Arretierbar}$		2		
2.3	Tragfähigkeit	F_{min}	3500N			
2.4	Verschiebegriffe	N_{Griff}		2		
3. Sicherheit						
3.1	Erdung					OK
3.2	Notaus-Schalter	N_{Not}		1		
3.3	Lüftungsschacht					
4. Ergonomie						
4.1	Leichte Verschiebbarkeit					OK
4.2	Einhaltung der Perzentilregel	$P_{Perzentil}$	5		95	
5. Fertigung						
5.1	Struktur aus ITEM-Profilen					OK
5.2	Verkleidung aus HPL-Platten					
6. Sterilität						
6.1	Sterilität von Brust- bis Bauchhöhe					OK
6.2	Sterilität der Frontseite					

■ : erfüllt
 ■ : teilweise erfüllt
 ■ : zu bearbeiten

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle B.1 – Fortsetzung

Nr.	Beschreibung	Bezeichnung	Wert			Status
			min.	exakt	max.	
7. Instandhaltung						
7.1	Desinfizierbarkeit der Flächen					■
7.2	Leicht zugängliche Flächen					
■ : erfüllt ■ : teilweise erfüllt ■ : zu bearbeiten						

■ : erfüllt ■ : teilweise erfüllt ■ : zu bearbeiten

Anschluss an dei OP-Versorgungsnetze

Nr.	Beschreibung	Bezeichnung	Wert			Status
			min.	exakt	max.	
1. Funktionale Anforderungen						
1.1	Position: Rückseite, bodennah					■
2. Energie						
2.1	Netzversorgung	N_{SPLY}		1		■
3. Stoff						
3.1	CO_2 -Versorgung	N_{CO_2}	1			■
3.2	H_2O -Versorgung	IN_{H_2O}	1			
3.3	H_2O -Entsorgung	OUT_{H_2O}	1			
3.4	Druckluftversorgung	N_{AIR}	3			
4. Signal						
4.1	Ethernet	$N_{Ethernet}$		2		■
5. Sicherheit						
5.1	Elektische Isolierung					■
5.2	Dichtung gegen Flüssigkeiten					
■ : erfüllt ■ : teilweise erfüllt ■ : zu bearbeiten						

■ : erfüllt ■ : teilweise erfüllt ■ : zu bearbeiten

Anschlusspanel OP-Tisch seitig

Nr.	Beschreibung	Bezeichnung	Wert			Status
			min.	exakt	max.	
1. Funktionale Anforderungen						
1.1	Position: Unter Instrumentenlagerstelle					
1.2	Maximale Verwendbarkeit von Komponenten unterschiedlicher Hersteller					
1.3	Austauschbarkeit der Anschlussbuchsen					
2. Kräfte						
2.1	Druckkräfte Wasserstrahlschneider	p	1bar		80bar	
3. Energie						
3.1	Buchse HF-Bipolar	HF_{Bipol}		2		
3.2	Buchse HF-Monopolar	HF_{Mono}		1		
3.3	Buchse HF-Neutral	$HF_{Neutral}$		1		
4. Stoff						
4.1	CO ₂ -Versorgung	N_{CO_2}	1			
4.2	H ₂ O-Versorgung	IN_{H_2O}	1			
4.3	H ₂ O-Entsorgung	OUT_{H_2O}	1			
4.4	Volumenstrom H ₂ O	\dot{V}_{H_2O}	1ml/min		55ml/min	
5. Signal						
5.1	Lichtwellenleiter Endoskop	LWW		1		
6. Sicherheit						
6.1	Elektrische Isolieren					
6.2	Dichtung gegen Flüssigkeiten					
7. Instandhaltung						
7.1	Desinfizierbarkeit der Flächen					
7.2	Leicht zugängliche Flächen					

■ : erfüllt
 ■ : teilweise erfüllt
 ■ : zu bearbeiten

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle B.3 – Fortsetzung

Nr.	Beschreibung	Bezeichnung	Wert			Status
			min.	exakt	max.	
8. Ergonomie						
8.1	Leichte Erkennbarkeit der Anschlüsse					
9. Sterilität						
9.1	Sterilität des Anschlusspanels					
6.2	Sterilität der Medien CO_2 und H_2O					
■ : erfüllt ■ : teilweise erfüllt ■ : zu bearbeiten						

Komponentenschubfächer

Nr.	Beschreibung	Bezeichnung	Wert			Status
			min.	exakt	max.	
1. Funktionale Anforderungen						
1.1	Höhenverstellbarkeit					
2. Geometrie						
2.1	Anzahl Schubfächer	N_{store}	3			
2.2	Breite	B		s.O.		
2.3	Tiefe	T		s.O.		
3. Kräfte						
3.1	Tragfähigkeit pro Schubfach	F_{min}	200N			
4. Sicherheit						
4.1	Dichtung gegen Flüssigkeiten	N_{CO_2}	1			
■ : erfüllt ■ : teilweise erfüllt ■ : zu bearbeiten						

Instrumentenlagerstätte

Nr.	Beschreibung	Bezeichnung	Wert			Status
			min.	exakt	max.	
1. Funktionale Anforderungen						
1.1	Anzahl MICAs	N_{MICA}		3		
1.2	Anzahl Endoskop	N_{Endo}		1		
1.3	Position: Oben, eingelassen					
1.4	Mulde für versenkbare, sterile Griffe					
2. Geometrie						
2.1	Breite	B		s.O.		
2.2	Höhe	H		260cm		
2.3	Neigungswinkel	α		45°		
■ : erfüllt ■ : teilweise erfüllt ■ : zu bearbeiten						

Sterile Endplatte

Nr.	Beschreibung	Bezeichnung	Wert			Status
			min.	exakt	max.	
1. Funktionale Anforderungen						
1.1	Lagerung der zuvor sterilisierten Anschlusskabel					
1.2	Fixierung der Instrumentendrapes					
1.3	Versenkbare, sterile Griffe					
2. Geometrie						
2.1	Breite	B		s.O.		
2.2	Höhe	H		s.O.		
2.3	MICA-Aussparungen	N_{MICA}		3		
2.4	Edoskop-Aussparungen	N_{Endo}		1		
2.5	Länge Sterilbeutel	l_{Beutel}		90cm		
<div><div><div></div><div>:</div><div>erfüllt</div></div><div><div></div><div>:</div><div>teilweise erfüllt</div></div><div><div></div><div>:</div><div>zu bearbeiten</div></div></div> <div>Fortsetzung auf nächster Seite</div>						

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle B.6 – Fortsetzung

Nr.	Beschreibung	Bezeichnung	Wert			Status
			min.	exakt	max.	
3. Mobilität						
3.1	Sterile Griffe	$N_{Griff,sterile}$		2		
4. Ergonomie						
4.1	Leichte Befestigung der Endplatte		1			
4.2	Gewicht	$m_{Endplatte}$			1000g	
4.3	Fehlerverzeihende Befestigung		1			
5. Fertigung						
5.1	Vermeiden von Gewinde und Hinterschneidungen	LWL		1		
5.2	Endplatte: magnetischer Edelstahl					
6. Sterilität						
6.1	Verwendung von sterilisierbaren Materialien					
7. Instandhaltung						
7.1	Desinfizierbarkeit					
7.2	Leicht zugängliche Flächen					
■ : erfüllt ■ : teilweise erfüllt ■ : zu bearbeiten						

Informationsmanagement

Nr.	Beschreibung	Bezeichnung	Wert			Status
			min.	exakt	max.	
1. Funktionale Anforderungen						
1.1	3D-Sicht für Assistent					<div></div>
1.2	Position: Über dem Arbeitsplatz					
1.3	Monitore	$N_{Display}$	1		2	
1.4	Erweiterbarkeit der Monitoranzahl					
<div><div></div> : erfüllt</div>			<div><div></div> : teilweise erfüllt</div>			<div><div></div> : zu bearbeiten</div>
Fortsetzung auf nächster Seite						

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle B.7 – Fortsetzung

Nr.	Beschreibung	Bezeichnung	Wert			Status
			min.	exakt	max.	
2. Mobilität						
2.1	Sterile Griffe	$N_{Griff,steril}$		2		
3. Ergonomie						
3.1	Abneigung der Sichtlinie	α	0°		20°	
3.2	Blickrichtung	β	−5°		5°	
3.3	Entfernung	s	1m		3m	
<div><div><div></div><div>: erfüllt</div></div><div><div></div><div>: teilweise erfüllt</div></div><div><div></div><div>: zu bearbeiten</div></div></div>						

Unsteriles Kabelmanagement

Nr.	Beschreibung	Bezeichnung	Wert			Status
			min.	exakt	max.	
1. Funktionale Anforderungen						
1.1	Lagerung der unsterilen Kabel im Grundriss des Arbeitsplatzes					
1.2	Halbautomatischer Aus- bzw. Einzugsmechanismus					
1.3	Kablehalterungen and er Reling					
2. Signal						
2.1	Lichtwellenleiter Endoskop	LWL_{Endo}		1		
2.1	Lichtwellenleiter MICA (Duplex)	LWL_{MICA}		3		
2.1	Lichtwellenleiter MIRO (Duplex)	LWL_{MIRO}		4		
3. Energie						
3.1	Netzversorgung MICA	$SPLY_{MICA}$		3		
3.2	Netzversorgung MIRO	$SPLY_{MIRO}$		4		
3.3	Netzversorgung Umsetzerboxen	$SPLY_{BOX}$		3		
4. Stoff						
■ : erfüllt ■ : teilweise erfüllt ■ : zu bearbeiten						Fortsetzung auf nächster Seite

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle B.8 – Fortsetzung

Nr.	Beschreibung	Bezeichnung	Wert			Status
			min.	exakt	max.	
4.1	Druckluftversorgung MICA	<i>MICA_{AIR}</i>		3		
4.2	Druckluftversorgung MIRO	<i>MIRO_{AIR}</i>		4		
<i>6. Sicherheit</i>						
6.1	Aktiver Antrieb des Mechanismus					
6.2	Austauschbarkeit der Kabeleinheiten					
<i>7. Instandhaltung</i>						
7.1	Desinfizierung und Reinigung der Kabel beim Aus- und Einziehen					
<i>8. Ergonomie</i>						
8.1	Leichte Entnahme der Kabelbündel					

■ : erfüllt
 ■ : teilweise erfüllt
 ■ : zu bearbeiten

B.2 Stückliste

ITEM-Bestellungen

Pos.	Stück- zahl	Bestell-Nr.	Bezeichnung	Abmessungen [mm]	Adresse/Kontakt	Status
1	11	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	720	www.item24.de	
2	2	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	630	"	
3	4	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	80	"	
4	4	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	90	"	
5	1	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	540	"	
6	2	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	800	"	
7	2	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	700	"	
8	2	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	255	"	
9	2	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	290	"	
10	2	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	355	"	
11	2	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	454	"	
12	2	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	691	"	
13	2	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	150	"	
14	2	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	59	"	

■ : geliefert
 ■ : bestellt
 ■ : zu bearbeiten

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle B.9 – Fortsetzung

Pos.	Stück- zahl	Bestell-Nr.	Bezeichnung	Abmessungen [mm]	Adresse/Kontakt	Status
15	1	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	246	"	
16	2	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	780	"	
17	1	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	89	"	
18	2	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	150	"	
19	2	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	200	"	
20	4	7.0.000.09	Profil 8 40x40 E, natur	150	"	
21	2	20.0.427.39	Nutenprofil 8 Al, natur	800	"	
22	4	0.0.373.82	Schanier St		"	
23	8	0.0.496.01	Konsole X 6-8		"	
24	2	0.0.437.60	Transport- und Fußplatte 5 40x40, M10, schwarz		"	
25	2	0.0.605.46	Lenkrolle D75 PA Doppelfeststeller		"	
26	2	0.0.605.45	Lenkrolle D75 PA		"	
27	1 VE	0.0.627.90	Universal-Halter mit Klettband 8 180, schwarz		"	
28	4	0.0.026.01	Abdeckkappe 8 40x40, schwarz		"	
29	1 VE	0.0.440.58	Automatik-Verbindungssatz 8, rostfrei		"	

■ : geliefert ■ : bestellt ■ : zu bearbeiten

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle B.9 – Fortsetzung

Pos.	Stück- zahl	Bestell-Nr.	Bezeichnung	Abmessungen [mm]	Adresse/Kontakt	Status
30	4	0.0.444.89	Winkelleiste 8 Al M6, natur	150	"	
31	2	0.0.398.19	Winkelleiste 8 Al 19", natur	150	"	
32	2	0.0.398.19	Winkelleiste 8 Al 19", natur	200	"	

■ : geliefert ■ : bestellt ■ : zu bearbeiten

Blechabkantungen

Pos.	Stückzahl	Form	Bezeichnung	Abmessungen	Werkstoff	Farbe	Bearbeitung	Adresse/Kontakt	Status
1	3	L	Zierleiste Regal	18x28x1.5; $l = 718$; $\alpha = 135^\circ$	Al	weiß	Bohrungen nach CAD	www.feld-eitorf.de	
2	1	Wanne	Wanne ERBEJET	38x716x556; $t = 2$	V2A	roh	Bohrungen nach CAD	www.feld-eitorf.de	
3	1	Wanne	Tischplatte	28x797x497; $t = 1.5$	V2A	gebürstet	Bohrungen nach CAD	www.feld-eitorf.de	
4	1	Abmaß	Lochblech ERBEJET	720x600; $t = 1.5$; Quatratroch 30	V2A	roh	Bohrungen nach CAD	www.feld-eitorf.de	
5	2	L	Zierleiste Lenkrollen	129x129x1; $l = 80$	Al	roh	Bohrungen nach CAD, Lackierung RAL7016	www.feld-eitorf.de	
6	2	Z	Griff	117x138x20; $l = 36$; $t = 2$; $\alpha = 135^\circ$	Al	roh	Bohrungen nach CAD	www.feld-eitorf.de	
7	3	Z	MICA-Stop	28x32x28; $l = 20$; $t = 1.5$	Al	roh		www.feld-eitorf.de	
8	1	Abmaß	Sterile Endplatte	826x260x1	V2A	gebürstet	Laserschnitt nach CAD	www.feld-eitorf.de	

■ : geliefert ■ : bestellt ■ : zu bearbeiten

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle B.10 – Fortsetzung

Pos.	Stück zahl	Form	Bezeichnung	Abmessungen	Werk- stoff	Farbe	Bearbei- tung	Adresse/Kontakt	Status
------	---------------	------	-------------	-------------	----------------	-------	------------------	-----------------	--------

■ : geliefert ■ : bestellt ■ : zu bearbeiten

Frästeile

Pos.	Stückzahl	Bezeichnung	Oberfläche	Stärke [mm]	Adresse/Kontakt	Status
1	2	GRIFF BLOCK	Roh, eloxiert	20	http://www.schaeffer-ag.de	
2	2 (gespiegelt)	GRASP COVER	Roh, eloxiert	2	http://www.schaeffer-ag.de	
3	1	GRASP COVER BACK	Roh, eloxiert	2	http://www.schaeffer-ag.de	
4	1	FP MICA	weiß, pulverbeschichtet	4	http://www.schaeffer-ag.de	
5	3	MICA GUIDE	roh, eloxiert	7	http://www.schaeffer-ag.de	
6	3	TRAFO STOP	roh, eloxiert	4	http://www.schaeffer-ag.de	
7	1	FP MICA FRONT	RAL7016, pulverbeschichtet	30	http://www.schaeffer-ag.de	
8	1	HF MONO BUSHING	weiß, pulverbeschichtet	10	http://www.schaeffer-ag.de	
9	1	HF NEUTRAL BUSHING	weiß, pulverbeschichtet	10	http://www.schaeffer-ag.de	
10	2	HF BIPOL BUSHING	weiß, pulverbeschichtet	10	http://www.schaeffer-ag.de	
11	1	CO2	weiß, pulverbeschichtet	10	http://www.schaeffer-ag.de	
12	1	LIGHT BOTTOM BUSHING	weiß, pulverbeschichtet	10	http://www.schaeffer-ag.de	
13	1	LIGHT TOP BUSHING	weiß, pulverbeschichtet	10	http://www.schaeffer-ag.de	
14	3	PATIENT BUSHING	weiß, pulverbeschichtet	20	http://www.schaeffer-ag.de	

■ : geliefert ■ : bestellt ■ : zu bearbeiten

Fortsetzung auf nächster Seite

Verkleidung

Pos.	Stückzahl	Bezeichnung	Werkstoff	Stärke [mm]	Adresse/Kontakt	Status
1	2 (gespiegelt)	HPL MICA SIDE	HPL	12	http://www.schreinerei-jursch.de/	
2	2 (gespiegelt)	HPL TABLE TOP	HPL	12	http://www.schreinerei-jursch.de/	
3	2 (gespiegelt)	HPL TABLE BOTTOM	HPL	12	http://www.schreinerei-jursch.de/	
4	2 (gespiegelt)	HPL MIRO SIDE	HPL	12	http://www.schreinerei-jursch.de/	
5	1	HPL MIRO	HPL	6	http://www.schreinerei-jursch.de/	
6	1	HPL DOOR CABLE	HPL	6	http://www.schreinerei-jursch.de/	
7	1	HPL DOOR CABLE COVER	HPL	6	http://www.schreinerei-jursch.de/	
8	1	HPL CONNECTION PANEL	HPL	6	http://www.schreinerei-jursch.de/	
9	1	HPL MICA	HPL	6	http://www.schreinerei-jursch.de/	
10	1	HPL TOP	HPL	12	http://www.schreinerei-jursch.de/	
11	1	HPL COVER SLIDER UNIT	HPL	6	http://www.schreinerei-jursch.de/	
12	1	HPL SHELF COVER	HPL	6	http://www.schreinerei-jursch.de/	
13	1	HPL DOOR MIRO RAC	HPL	6	http://www.schreinerei-jursch.de/	
14	1	HPL DOOR MIRO RAC COVER	HPL	6	http://www.schreinerei-jursch.de/	

■ : geliefert
 ■ : bestellt
 ■ : zu bearbeiten

Fortsetzung auf nächster Seite

Tabelle B.12 – Fortsetzung

Pos.	Stückzahl	Bezeichnung (CAD)	Werkstoff	Stärke [mm]	Adresse/Kontakt	Status
15	1	HPL CABLE OUTLET	HPL	6	http://www.schreinerei-jursch.de/	
16	1	HPL CABLE TOP	HPL	12	http://www.schreinerei-jursch.de/	
17	2	HPL SHELF	HPL	12	http://www.schreinerei-jursch.de/	

■ : geliefert ■ : bestellt ■ : zu bearbeiten

Zukaufteile

Pos.	Stückzahl	Bestell-Nr.	Bezeichnung	Adresse/Kontakt	Status
1	2	GN 739	Griffmulde, weiß	www.ganter-griff.de	■
2	2	186218	QST3-G1/4-8-6 Mehrfach-verteiler	www.festo.com	
3	2	531650	KDS6-1/4-I Kupplungsdose	www.festo.com	
4	1	SIL.035.W	Silikonfolie 824x1800	www.hightechflon.com	
5	4	743901-VQ	D-SUB Stecker	www.conrad.de	■
6	1	986892-62	Xergo Flex Monitorhalter	www.conrad.de	■

■ : geliefert ■ : bestellt ■ : zu bearbeiten